Niveau(x) d'enseignement : 7 Numéro EDUQ : 9270325
Centre d'intérêt : 540

Barrette, Christian.

Copilote : plan de développement d'un système informatisé d'auto-évaluation formative / Christian Barrette, Jean-Pierre Regnault. -- Montréal : Cégep Ahuntsic, 1992.
iii, vi, 156 p. : ill. ; 28 cm.

"Cette recherche a été subventionnée par la Direction générale de l'enseignement collégial dans le cadre du programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage". Code : 1532-0333. Bibliogr. : p. [153]-156.

ISBN 2-921078-17-1

Vedette(s)-secondaire(s) : Regnault, Jean-Pierre • Cégep Ahuntsic

Descripteur(s) : Evaluation formative • Auto-évaluation • Utilisation de l'ordinateur • Elaboration de logiciels • Logiciel • Plan de développement • Questionnaire • Collégial (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de nom : Copilote (Progiciel)

Ce rapport de recherche traite de l'élaboration d'un progiciel, baptisé Copilote, pour l'auto-évaluation formative des apprentissages au collégial. La première partie présente les différents éléments de la recherche théorique, c'est-à-dire la problématique, la justification du média informatique et le cadre théorique proprement dit. On y traite du modèle de représentation des connaissances, du mode de traitement graphique, de la typologie des relations, du vocabulaire restreint, de la méthode d'analyse de la matière, des critères de maîtrise et, enfin, de la rétroaction. Quant à la seconde partie, elle traite du logiciel proprement dit. Après avoir présenté les objectifs de la version professeur et de la version élève du logiciel, on décrit successivement l'interface du logiciel selon les niveaux, les niveaux et les modes d'utilisation pour les professeurs et pour les étudiants. On aborde ensuite la question de l'intégration pédagogique qui traite de l'utilisation proprement dite du logiciel. Une dernière section décrit les travaux préliminaires, notamment les prototypes qui ont été créés pour valider les hypothèses ainsi qu'un bref inventaire des produits existants et des outils de développement. On y trouve aussi quelques réflexions méthodologiques concernant le développement par prototypage et les voies de développement informatique entrevues pour la production du progiciel.

Type de document :

LAVALLE (Québec)
H3N 2J4

Christian Barrette
professeur d'anthropologie,Collège Ahuntsic

Jean-Pierre Regnault
professeur de biologie,cégep Montmorency

9271325
REÇU le
1 NOV. 1992
R&D

Copilote

Plan de développement d'un système informatisé d'auto-évaluation formative

Collège Ahuntsic
janvier 1992

Dépôt légal: 1er trimestre 1992
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-921078-17-1

Christian Barrette

professeur d'anthropologie, Collège Ahuntsic

Jean-Pierre Regnault

professeur de biologie, cégep Montmorency

9210325

Copilote

Plan de développement d'un système informatisé d'auto-évaluation formative

Cette recherche a été subventionnée par la Direction générale de l'enseignement collégial dans le cadre du programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage.

Collège Ahuntsic

Janvier 1992

On peut se procurer des exemplaires supplémentaires de ce rapport de recherche auprès de la Direction des services pédagogiques du Collège Ahuntsic, 9155, rue Saint-Hubert, Montréal (Québec) H2M 1Y8, tél.: (514) 389-5921.

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour les conseils et les remarques qu'elles nous ont apportés au cours de cette recherche: Jacques Lafeuille, Mario Carrière, Régis Fournier, Christian Contant, Aline Coté, Rolland Berger, Michel Lemay, Robert Howe et Armande Maltais.

Nous remercions aussi les enseignantes et les enseignants du Collège Ahuntsic et du cégep de Joliette-De Lanaudière qui ont accepté de participer à une première expérimentation du modèle théorique et de la méthode d'analyse.

Nos remerciements vont finalement à Michèle Deraiche qui a assuré la révision linguistique du rapport.

Table des matières

Introduction 5

Objectifs initiaux de la recherche 5

Questions et parcours de recherche 5

Aspects théoriques 9

Problématique 9

Évaluation formative 9

Ordinateur: média d'enseignement 18

Justification du média 18

Rétroactions et auto-évaluation 19

Cadre théorique 22

Quel modèle de représentation des connaissances retenir? 22

Notre modèle de représentation des connaissances 43

Notre outil de représentation 59

Typologie des relations 62

Critères de maîtrise et rétroaction 88

Critères de maîtrise 88

Contenu et formes de rétroaction 92

Tableau récapitulatif 96

Méthode d'analyse de la matière 98

Définir une performance 98

Tracer la carte résolutoire 98

Développer les nœuds 99

Exemple d'analyse de matière 99

Expérimentation 104

Introduction 104

Cadre général de l'expérimentation 104
Synthèse 105
Champs d'application de la méthode 106
Analyse de la matière 106
Production de médias visuels 107
Exercices d'évaluation formative en classe 108
Modèle de prise de notes 110
Modèle de résumé de texte 110
Instrument d'évaluation 111
Commentaires sur la méthode 115
Première constatation 115
Deuxième constatation 116
Troisième constatation 117
Quatrième constatation 117
Cinquième constatation 118
Sixième constatation 119
Assouplissements 120
Conclusion 122
Copilote 123
Objectifs 123
Copilote, version professeur 123
Copilote, version élève 124
Interface de *Copilote* 125
Copilote à deux faces 125
Description de l'interface selon les niveaux 125
Cahier des formulations 129
Modalités formelles de rétroaction 129
Intégration pédagogique 131

Du côté du professeur 131
Du côté de l'élève 134
Interaction professeur-élève 135
Développement et perspectives de production 137
Produits existants et inventaire critique des outils de développement 137
Banque de questions 137
Schématisation 138
Outils de développement 143
Remarques méthodologiques 147
Prototypage 147
Distinction entre création de l'interface et programmation des fonctions 149
Expérimentation 150
Ouvrages cités 153
Annexes i
Annexe I i
Annexe II v

Introduction

Objectifs initiaux de la recherche

En 1989, nous avons déposé une demande de subvention au PAREA pour entreprendre une recherche qui avait pour objectif de jeter les bases d'un système informatisé d'auto-évaluation formative faisant appel à des techniques de représentation des connaissances élaborées en psychologie cognitiviste et en intelligence artificielle. Ce logiciel se devait d'être à vocation universelle, en d'autres termes, adaptable à la plupart des disciplines enseignées dans les programmes de Sciences humaines, d'Arts et Lettres, de Sciences de la nature ou dans les différents programmes techniques.

Motivée par la problématique de l'aide à l'apprentissage, en particulier par les efforts de développement de l'évaluation formative, cette recherche a permis de répondre à un certain nombre de questions théoriques qui sous-tendaient le plan de développement du logiciel.

Avant d'entrer dans le détail, il nous semble important de fournir au lecteur et à la lectrice un bref survol de l'ensemble des champs de la recherche. Il offrira une première idée des voies que nous avons empruntées, des écueils auxquels nous nous sommes heurtés et des réponses que nous avons apportées. Il annoncera également la réponse originale que nous avons élaborée, sûrement parmi d'autres, à la question que pose l'évaluation formative des apprentissages au collégial et qui prendra un nouvel envol, à l'hiver 1992, avec la mise en chantier d'un progiciel provisoirement baptisé *Copilote*.

Questions et parcours de recherche

Nos questions de recherche peuvent être groupées en trois grands blocs.

Un premier bloc de questions se référait au choix de modèles de représentation des connaissances et à leurs approches graphiques, en particulier l'utilisation des arbres taxonomiques et des réseaux de concepts comme base d'analyse des opérations cognitives. Un second bloc concernait le traitement des différents types de connaissances et un troisième abordait le problème de la rétroaction.

En fait, ces questions ne constituaient qu'une partie du terrain qu'il a fallu défricher avant d'arriver à un modèle opérationnel satisfaisant. En puisant aux sources des différentes écoles de pensée cognitiviste, nous avons défini les assises théoriques d'un système informatisé d'auto-évaluation formative. Fondamentalement, ce travail exigeait d'établir une hiérarchie des opérations cognitives et de déterminer dans quelle mesure les techniques de schématisation pouvaient constituer une voie de développement intéressante pour la représentation des connaissances.

Une fois cette approche retenue, il a fallu d'abord définir des niveaux appropriés de connaissance en regard des opérations cognitives identifiées et fixer un mode de représentation pour chacun des niveaux; puis déterminer les modes de navigation entre les niveaux, donc notamment préciser, pour chacun d'eux, des critères de maîtrise des connaissances et, enfin, régler une série de questions relatives à la rétroaction.

C'est alors que nous avons réalisé pleinement qu'un système informatisé d'auto-évaluation formative ne pourrait fonctionner correctement sans une méthode d'analyse de la matière permettant d'extraire les connaissances et d'en rendre possible le traitement. Or nous avons entrepris cette tâche en même temps que nous commencions à nous pencher sur la question fort épineuse de l'évaluation des liens, ou relations, à l'intérieur des cartes résolutoires. De l'avis des chercheurs travaillant dans ce domaine, la formalisation et l'utilisation systématique d'un système de relations constituent le problème le plus ardu de la représentation des connaissances. Pour répondre à cette question, nous avons créé, à partir de sources variées, une typologie des relations et forgé un vocabulaire restreint servant à les nommer.

Il n'est donc pas étonnant que la conception d'une méthode d'analyse de la matière et l'élaboration de la typologie des relations nous aient pris une bonne part de notre temps de recherche, reléguant le prototypage au second rang. Une expérimentation sommaire de la méthode a déjà été faite par les auteurs eux-mêmes et par un petit nombre d'étudiants et d'étudiantes. Les premiers résultats obtenus sont encourageants, mais il faudra poursuivre cet aspect de la recherche. Au passage, soulignons que les solutions que nous proposons sont valables en dehors de tout environnement informatique. Elles nous ont aussi amenés à reconsidérer notre problématique et à penser que ce système informatisé, quand il verra le jour, pourrait être bien plus qu'un progiciel d'auto-évaluation formative.

Du côté de l'informatique, nous avons cherché dans les logiciels existants et dans les outils de développement des voies possible de mise en œuvre. Dans l'ensemble, les examens entrepris dans cette direction se sont avérés peu encourageants. Nous avons donc rapidement abandonné l'idée de trouver un logiciel capable de supporter un modèle théorique comme le nôtre et capable d'effectuer les opérations dont nous avions besoin.

Au cours de cette recherche, nous avons également entrepris de décrire l'interface du logiciel selon les niveaux de traitement des connaissances. Pendant cette étape, la construction de plusieurs petits prototypes nous a aidés à préciser, pour chaque niveau, le mode de présentation de la question, le mode d'entrée de la question, les critères de maîtrise et le type de rétroaction à fournir à l'utilisateur. Tous ces éléments du plan de développement seront récupérés lors de l'élaboration du devis informatique[1].

Conjointement à ce travail, nous avons aussi précisé le mode d'intégration pédagogique de la version professeur et de la version élève du logiciel.

Ce bref sommaire des questions et des activités de recherche constitue la trame de notre rapport. La première partie présente les différents éléments de la recherche théorique, c'est-à-dire la problématique, la justification du média informatique et le cadre théorique proprement dit. Nous y traitons tout particulièrement du modèle de représentation des connaissances, du mode de traitement graphique, de la typologie des relations, du vocabulaire restreint, de la méthode d'analyse de la matière, des critères de maîtrise et, enfin, de la rétroaction. Des remarques issues de nos premières expérimentations viennent clore cette partie.

Quant à la seconde partie, elle traite du logiciel proprement dit. Après avoir présenté les objectifs de la version professeur et de la version élève du logiciel, nous décrirons successivement l'interface du logiciel selon les niveaux, les niveaux et les modes d'utilisation pour les professeurs et les professeures et pour les étudiants et étudiantes. Nous aborderons ensuite la question de l'intégration pédagogique qui traite de l'utilisation proprement dite du logiciel. Une dernière section nous permettra de décrire les travaux préliminaires, notamment les prototypes que nous avons créés pour valider nos hypothèses ainsi qu'un bref inventaire des produits existants et des outils de développement. On y trouvera aussi quelques réflexions méthodologiques concernant le développement par prototypage et les voies de développement informatique que nous comptons emprunter pour la production du progiciel.

---

1 À paraître en janvier 1992.

Problématique

Évaluation formative

Définie de façon très générale, l'évaluation formative peut être décrite comme une stratégie ou un ensemble de stratégies interactives et orientées vers une aide pédagogique. Ce terme a été créé en 1967 par M. Scriven[2] pour désigner la contribution pédagogique à l'acte d'apprendre et à celui d'enseigner, tout en la démarquant de l'évaluation sommative qui sert à déterminer ultimement l'efficacité de l'apprentissage. Le terme est plus récent que l'idée et la pratique de l'évaluation formative qui, elles, ne datent pas d'hier. Elles étaient déjà au cœur des préoccupations des philosophes grecs (Socrate ne s'interrogeait-il pas sur la nécessité d'évaluer constamment le cheminement de la pensée de l'élève?) et de quelques éducatrices et éducateurs éclairés du début de ce siècle.

Pour mieux cerner la notion d'évaluation formative, on peut retenir les définitions de B. Bloom, de G. de Landsheere et de G. Scallon. Selon Bloom, l'évaluation formative est «une composante essentielle d'une stratégie d'enseignement. Elle vise à guider l'élève dans son travail scolaire, à situer ses difficultés pour l'aider et à découvrir des moyens qui lui permettront de progresser dans son apprentissage». Pour G. de Landsheere, l'évaluation formative est une «évaluation intervenant, en principe, au terme de chaque tâche d'apprentissage et ayant pour objet d'informer l'élève du degré de maîtrise atteint et, éventuellement, de découvrir où et en quoi un ou une élève éprouve des difficultés d'apprentissage, en vue de lui proposer ou de lui faire découvrir des stratégies qui lui permettent de progresser». Enfin, G. Scallon définit l'évaluation formative comme «un processus d'évaluation continue ayant pour objet premier d'assurer la progression de chaque élève dans la poursuite d'un objectif pédagogique et ce, avec l'intention de modifier le

---

2 Cité dans *L'évaluation formative, éléments de docimologie*, fascicule 3. MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS, Direction générale des publications gouvernementales, 1983, 118 p.

rythme de cette progression en apportant, s'il y a lieu, des améliorations ou des correctifs appropriés[3]».

Ces trois auteurs placent l'évaluation formative au cœur même de l'intervention pédagogique et en font un guide essentiel pour les enseignants et les enseignantes comme pour les étudiants et les étudiantes. De plus, l'évaluation formative est toujours orientée vers la notion de rétroaction: c'est un temps d'arrêt entre deux apprentissages, un moment privilégié au cours duquel on cherche à savoir si l'apprentissage est satisfaisant. L'information fournie lors de la rétroaction permet aux enseignants et aux enseignantes d'identifier rapidement les points de blocage de leur enseignement. Ce faisant, ils peuvent modifier leurs stratégies et remédier rapidement aux difficultés décelées dans l'apprentissage. Cette information permet aussi aux étudiants et aux étudiantes de découvrir où et en quoi ils éprouvent des difficultés d'apprentissage; elle les aide à identifier par eux-mêmes ces difficultés. Enfin, elle leur fait découvrir ou leur propose des stratégies qui leur permettront de débloquer et de progresser dans leur apprentissage.

L'évaluation formative fait appel à deux groupes d'instruments: les dispositifs de mesure et les stratégies pédagogiques[4]. Les dispositifs de mesure sont des tests qui prennent diverses formes. À titre d'exemple, mentionnons les tests à questions objectives ou à développement, les tests informatisés et les tests oraux. Ces tests peuvent être corrigés par les enseignants et les enseignantes, par l'étudiant ou l'étudiante qui vient de passer le test ou par les pairs. Quant aux stratégies pédagogiques, elles n'ont de véritable limite que l'imagination des professeurs. On trouve notamment dans ce groupe les questions orales, les exercices faits en classe (sous forme de questions, de réseaux de concepts, de cas concrets), plusieurs formes de

---

3 LANDSHEERE, G. de. *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*. 1979, p. 29

SCALLON, G. «L'évaluation formative des objectifs des productions des discours», dans *Vie pédagogique*, n° 24 (avril 1983), p. 19.

SCALLON, G. *L'évaluation formative des apprentissages*. vol. 1 (*L'instrumentation*), 1988, s.p.

SCALLON, G. *L'évaluation formative des apprentissages*. vol. 2 (*La réflexion*), 1988, s.p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, ministère de l'Éducation du Québec, Direction générale du développement pédagogique. *Politique générale d'évaluation pédagogique, secteur du primaire et du secondaire*. 1981, s.p.

MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS, Direction générale des publications gouvernementales. *L'évaluation formative, Éléments de docimologie*, fascicule 3. 1983, p. 7.

4 HOWE, R. «Formules pédagogiques et évaluation formative: une combinaison gagnante», dans *Pédagogie collégiale*, vol. 4, n° 4 mai 1991, p. 8-13.

journal de bord, les jeux et les jeux-questionnaires, le travail d'équipe, les simulations, etc.

Au delà de leurs différences, ces instruments possèdent deux points communs: d'une part, ils maintiennent les élèves en situation d'apprentissage actif, visible, observable, voire mesurable et, d'autre part, ils fournissent une rétroaction rapide, sinon immédiate. Cette rétroaction permet d'adapter au mieux l'action pédagogique en fonction des résultats obtenus, des difficultés et des progrès observés. En conclusion, on peut résumer l'évaluation formative par cinq propositions[5]. L'évaluation formative permet:

- d'identifier les acquis nécessaires au début d'un apprentissage;
- d'identifier le degré d'atteinte des objectifs d'apprentissage;
- d'identifier la démarche d'apprentissage utilisée par l'élève;
- d'adapter les démarches d'enseignement et d'apprentissage aux difficultés rencontrées;
- d'agir immédiatement pour améliorer l'apprentissage pendant qu'il se réalise.

Des facteurs de résistance

Bien que personne ne songe à mettre en doute la pertinence et l'efficacité de l'évaluation formative, force est de constater qu'elle n'a pas connu jusqu'ici le succès qu'elle mérite. S'il en est ainsi, c'est parce que l'évaluation formative se heurte à un certain nombre de facteurs de résistance qui en limitent l'implantation ou qui tendent à décourager les professeurs qui l'utilisent déjà[6].

Plus précisément, la généralisation de cette pratique se heurte à une série d'inconvénients. Les uns relèvent de l'alourdissement de travail que connaissent les enseignantes et les enseignants depuis plusieurs années; les autres relèvent de la nature même de l'évaluation formative et de ses pratiques actuelles.

Comme l'évaluation formative joue un rôle de soutien à l'apprentissage, elle possède des exigences et des caractéristiques spécifiques différentes de l'évaluation sommative. À cause de ces différences, il n'est pas toujours souhaitable ou possible d'employer les instruments de mesure qui sont destinés à des fins sommatives. De ce fait, quand on veut dépasser les commentaires correctifs, il convient d'élaborer une nouvelle série de tests, d'exercices et d'instruments d'évaluation propres à fournir un diagnostic

---

5 MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS, Direction générale des publications gouvernementales. *L'évaluation formative, éléments de docimologie*, fascicule 3. 1983, p. 12.

6 DUNKLEBERGER, G. E. et H. HEIKKINEN. «Computer-Made Tests Set Mastery Learning Free» , dans *Curriculum Review*, vol 22, n°5 (décembre 1983), p. 34-35.

rapide et fréquent en cours de session. Or ce travail s'ajoute aux nombreuses autres tâches inhérentes à l'enseignement. Par ailleurs, les stratégies pédagogiques destinées à l'évaluation formative doivent être créées de toutes pièces, le plus souvent. Beaucoup d'enseignants et d'enseignantes se demandent où trouver le temps qui leur permettrait de se lancer dans une forme d'évaluation qui exige une nouvelle planification du temps, une planification plus serrée des activités d'enseignement, l'insertion de nouvelles stratégies, la préparation, l'administration des évaluations formatives, voire la préparation d'activités correctives pour remédier aux lacunes identifiées.

De plus, pour être efficace, l'évaluation formative se doit d'être fréquente et accompagnée de rétroaction. Si possible, elle doit respecter aussi le rythme d'apprentissage de chaque élève. Or ces caractéristiques deviennent autant de contraintes. L'administration fréquente de tests prend du temps, réduisant d'autant celui que l'on consacre à l'enseignement de la matière proprement dit. Enfin, s'ajoutent le problème de préparer plusieurs séries d'évaluations de même degré de difficulté et le souci d'éviter que les étudiantes et les étudiants plus lents n'obtiennent les réponses de ceux et celles se soumettant plus rapidement aux évaluations.

Le bilan des pratiques de l'évaluation formative est donc plutôt sombre: même si on en reconnaît unanimement les bienfaits, l'évaluation formative ne saurait devenir une pratique pédagogique largement répandue tant que les professeurs n'auront pas réalisé les bénéfices qu'ils peuvent en tirer et qu'ils ne disposeront pas de techniques et d'instruments adéquats[7].

Auto-évaluation

En plus de promouvoir l'intérêt de l'évaluation formative, il faut rechercher des approches et des instruments qui permettent de faire l'évaluation formative sans ajouter au fardeau des enseignants et des enseignantes. Parmi celles-ci, l'auto-évaluation est certainement une approche à privilégier en raison de ses nombreux avantages. D'une part, en plus de diminuer la tâche de correction, l'auto-évaluation permet une fréquence plus élevée de l'évaluation formative tout en respectant le rythme d'apprentissage de chaque élève. Il est reconnu aussi qu'elle contribue à développer la motivation et l'autonomie. D'autre part, pour les cognitivistes dont nous nous sommes inspirés, l'auto-évaluation se trouve au cœur du processus d'appropriation de la connaissance et constitue, de ce fait, un facteur déterminant de la réussite.

Cependant, telle qu'elle est appliquée aujourd'hui, l'auto-évaluation ne constitue pas une panacée, car ses instruments conventionnels présentent

---

7 CONSEIL DES COLLÈGES. *Les politiques institutionnelles d'évaluation des apprentissages: état de la situation deux ans plus tard*. Commission de l'évaluation, Gouvernement du Québec, juin 1987, p. 26-28.

plusieurs défauts. Les uns dépendent de la production même des instruments d'auto-évaluation, une activité qui s'ajoute aux tâches courantes, tandis que les autres relèvent de la gestion de l'auto-évaluation ou des informations qu'elle fournit. Les tenants de l'auto-évaluation ont cherché dans l'informatique le moyen de contourner les problèmes inhérents aux instruments d'auto-évaluation conventionnels.

Informatisation de l'auto-évaluation

Deux grands groupes d'instruments de mesure informatisés sont actuellement utilisés à des fins d'auto-évaluation formative: les banques de questions objectives et les systèmes experts. Après en avoir présenté les caractéristiques, les avantages et les limites, nous décrirons brièvement le principe de l'approche que nous avons développée. Cette approche se situe entre les banques de questions objectives et le système expert. En raison de ses propriétés, nous l'avons qualifiée de «système pour les experts».

Banques de questions objectives

Disposant de questions objectives, il était tentant d'en faire des banques qu'on pourrait utiliser à des fins d'évaluation ou d'auto-évaluation formative. Malheureusement, ces banques informatisées de questions objectives se sont avérées peu efficaces en raison de carences de nature pédagogique et informatique.

Parmi les carences pédagogiques identifiées figure tout d'abord le morcellement des connaissances. Celui-ci résulte vraisemblablement des fondements théoriques des instruments ou des designs pédagogiques qui n'insistaient pas suffisamment sur les relations entre les éléments d'un domaine de connaissances. Vient ensuite la pauvreté de la rétroaction des instruments informatisés. D'une part, la rétroaction porte sur la correction de la réponse formulée et non sur la correction de la connaissance elle-même. D'autre part, comme la rétroaction conventionnelle se réfère surtout à la maîtrise des faits, on ne peut situer les points de blocage qui empêchent d'atteindre les objectifs d'apprentissage de niveau élevé. Enfin, la réponse à une question objective ne révèle pas, en soi, le cheminement qui a conduit à la réponse donnée. De ce fait, il devient impossible d'objectiver une démarche ou de prendre conscience du fonctionnement cognitif.

Au plan informatique, il faut souligner deux carences fondamentales: la faiblesse de la «navigation» et la pauvreté de la présentation. Par navigation on désigne la capacité, pour un utilisateur ou une utilisatrice, de choisir dans la banque les notions sur lesquelles il désire être interrogé ainsi que l'ordre de ces notions. La navigation désigne aussi le cheminement suivi par le logiciel dans l'enchaînement des questions. On utilise parfois le terme tropisme pour nommer ces mécanismes d'ajustement programmé.

La plupart du temps, la navigation dans les banques de questions d'évaluation est linéaire: il est impossible de déterminer un cheminement adapté aux besoins d'un utilisateur particulier. Celui-ci doit répondre à toutes les questions liées dans une séquence prédéterminée et unique. Cette linéarité relève notamment de l'absence d'itinéraires variés et de l'absence de multiples points d'accès ou de sortie au sein de la banque. Pis encore, comme il est impossible de revenir en arrière, on ne peut corriger les erreurs devenues évidentes à la lumière des questions et réponses suivantes.

Quant à la pauvreté de la présentation, elle dépend principalement du mode de traitement retenu et affecte autant le fond que la forme. D'une part, relativement au fond, la quasi-totalité des banques de questions objectives est constituée de questions à choix multiple. Or cette présentation a une incidence théorique non négligeable sur l'évaluation des apprentissages. Même si elle peut vérifier l'atteinte d'objectifs de niveau élevé, en soi, la réponse à une question objective ne révèle pas le cheminement qui a conduit à la réponse correcte ou erronée. D'autre part, les banques n'affichent habituellement que du texte. En plus de leur donner un caractère ennuyeux, ce mode de présentation s'avère inefficace pour les étudiants et les étudiantes à tendance visuelle et pour les disciplines qui requièrent un traitement graphique élaboré.

Ces arguments nous ont amenés à rejeter d'emblée l'idée d'un système informatisé d'auto-évaluation formative uniquement fondé sur l'emploi de questions objectives. Nous ne rejetons pas la question objective en tant que mode d'interrogation, mais en tant qu'unique mode de traitement des connaissances et seul principe d'organisation d'un système d'auto-évaluation. Par ailleurs, il importe de rappeler qu'un questionnaire à questions objectives, s'il est conçu dans les règles de l'art, peut s'avérer un instrument diagnostique très efficace. Ni le lecteur ni la lectrice ne devraient donc être surpris que nous ayons recours aux questions objectives.

Systèmes experts

Caractéristiques générales

Premiers fruits de l'intelligence artificielle, les systèmes experts constituent un deuxième groupe de systèmes informatisés utilisables à des fins d'évaluation formative.

Le qualificatif d'expert décrit les propriétés d'un système doté d'une compétence comparable à celle d'un expert humain dans certains domaines très spécialisés (diagnostic des infections microbiennes, prospection minière, etc.). Dans ce système, les informations sont structurées et réunies de manière à constituer de véritables bases de connaissances. Ces bases permettent la description des informations mais également les différentes associations susceptibles d'être établies entre celles-ci. De par son activité, le système expert cherche à créer un simulateur efficace du raisonnement humain. Son

meilleur exemple confondrait les non-initiés qui croiraient volontiers qu'il y a «quelqu'un là-dedans».

Plus précisément, un système expert est constitué de deux grands éléments: un moteur d'inférence et des bases de données. Le moteur d'inférence assure le traitement des procédures tandis que les bases de données stockent les connaissances et les règles (tableau 1).

Tableau 1
Composants d'un système expert.

COMPOSANTS	FONCTIONS
Moteur d'inférence	Le moteur d'inférence applique un certain nombre de procédures standardisées (unification, chaînage, etc.) aux connaissances contenues dans la base de données dans le but de déduire des faits, de vérifier des hypothèses, etc.
Base de connaissances	La base de connaissances contient des propositions affirmatives qui fournissent une description statique du problème à traiter.
Base de règles	La base de règles contient des propositions plus générales que celles de la base de connaissances. Ces propositions décrivent les relations qui existent entre les faits et un ensemble d'actions à entreprendre.

Système expert et évaluation formative

Même s'ils ne sont pas expressément conçus à des fins de formation pédagogique et d'évaluation, il est possible d'utiliser les systèmes experts pour faire de l'évaluation formative car ils peuvent considérer le modèle de l'élève comme un sous-ensemble de la connaissance de l'expert.

En effet, on peut demander aux systèmes experts utilisés comme didacticiels de récolter, d'accumuler et d'analyser des informations relatives aux compétences de l'apprenant en mémorisant les règles à l'égard desquelles l'élève a montré sa maîtrise. En outre, ces systèmes sont capables de connaître la manière dont les élèves réagissent aux situations d'apprentissage proposées, puis d'identifier l'origine des difficultés éprouvées par certains élèves. Enfin, l'identification des erreurs commises peut être le point de départ d'une correction.

L'interaction entre un système expert et l'utilisateur ou l'utilisatrice permet à ce système de jouer d'autres fonctions pédagogiques. Par exemple, l'utilisateur peut interroger le système expert sur les raisons qui lui ont

permis d'établir certaines conclusions. De son côté, le système expert peut interroger l'élève après lui avoir fait découvrir des hypothèses erronées et poser des questions sur les informations qu'il vient de recevoir de manière à vérifier sa capacité à intégrer de nouvelles connaissances.

Malgré ces grandes qualités, les systèmes experts ne jouent pas un rôle très important en évaluation formative et dans l'apprentissage, d'une manière plus générale. S'il en est ainsi, c'est que ces systèmes experts restent cantonnés dans un domaine précis et restreint. De plus, ils requièrent un énorme investissement de temps pour bâtir la base des connaissances, énoncer les règles et construire l'analyseur de réponses. Construire un progiciel du type système expert, permettant aux enseignants et aux enseignantes d'élaborer leurs propres outils d'auto-évaluation formative, paraît une tâche démesurée.

Système pour les experts

Les «systèmes pour les experts» devraient constituer une troisième génération de systèmes informatisés d'évaluation formative susceptibles de pallier les lacunes ou les limites des deux groupes de dispositifs de mesure dont nous venons de discuter.

En effet, comme les défaillances des systèmes informatisés actuellement disponibles se situent au niveau conceptuel (designs pédagogiques et informatiques) plutôt qu'au niveau du média lui-même, rien n'empêche de mettre au point une nouvelle génération de systèmes informatisés d'auto-évaluation. Ils seraient ouverts à toutes les disciplines, aborderaient la matière enseignée dans une perspective systémique, se prêteraient à l'évaluation intégrée des habiletés de tout niveau et donneraient une rétroaction riche, tout en exigeant un moindre temps de développement.

Repenser la notion d'expert

Mais avant de chercher une théorie capable de soutenir des designs pédagogiques et informatiques permettant de développer un système informatisé d'auto-évaluation doté de tels attributs, il faut repenser la notion d'expert.

S'interroger sur la notion d'expert revient à poser la question: qui sont les experts en éducation? Le système informatisé ou les différents acteurs que représentent les professeurs et les élèves? Le professeur est certainement expert en contenu et en mode d'enseignement et l'élève l'est aussi en autoformation. Notre approche vise donc essentiellement à outiller ces deux acteurs pour qu'ils développent leur expertise respective. Plutôt que d'installer un expert dans la machine, nous voulons que la machine devienne un outil entre les mains de l'expert, qu'il soit concepteur ou auto-évaluateur.

Copilote

C'est dans cette perspective de la convergence de l'expertise des professeurs et des élèves que se situe la création de *Copilote*, un progiciel qui servira au professeur à fabriquer du matériel d'évaluation et aux étudiants et aux étudiantes à s'auto-évaluer. Ainsi nommé en raison de ses fonctions d'assistant à l'enseignement et à l'apprentissage, *Copilote* permettra d'abord aux enseignants et aux enseignantes d'intégrer les opérations d'analyse de la matière à enseigner, et de systématiser la préparation du matériel d'évaluation. Ensuite, il les dégagera de l'administration de l'évaluation proprement dite et des opérations de correction. Ce faisant, *Copilote* laisse plus de temps pour l'intervention et pour la correction. De la même manière, *Copilote* accompagne l'étudiant et l'étudiante dans son apprentissage et lui révèle son cheminement.

Notre tentative repose sur la théorie cognitiviste née de la convergence des recherches entreprises au début des années 1970 en psychologie, en intelligence artificielle, en linguistique, en biologie ainsi que dans certains domaines de la philosophie. L'objet principal de ces sciences est de comprendre et de décrire les stratégies cognitives utilisées par l'être humain dans l'acquisition et le traitement des connaissances, voire d'en reproduire les comportements intelligents.

Plus précisément, *Copilote* modélise le raisonnement humain. L'intérêt de cette approche est double. D'une part, elle offre au spécialiste de la matière et du mode d'enseignement un outil qui l'aide à mieux comprendre une matière dans un contexte systémique, donc à tenir compte des relations et des interrelations au sein des différents domaines de savoir. D'autre part, elle fournit à la personne en situation d'auto-évaluation l'occasion de connaître son cheminement et son degré de compréhension du domaine sur lequel elle est interrogée.

Ordinateur: média d'enseignement

Nous avons trouvé chez Depover[8] un imposant inventaire de l'utilisation pédagogique des ordinateurs et la conviction que ces instruments constituent un média privilégié pour élaborer des processus pédagogiques.

Justification du média

Depover se fait le promoteur d'un système d'enseignement qu'il qualifie d'adaptatif, c'est-à-dire dont «les possibilités de régulation existent durant l'ensemble du processus d'enseignement, autorisant ainsi un ajustement immédiat (régulation immédiate) des actions d'enseignement au comportement d'apprentissage manifesté par l'apprenant[9]».

Ce système d'enseignement, assimilable à celui de la pédagogie de la maîtrise, peut se servir de l'ordinateur, soit exclusivement, soit occasionnellement dans une de ses phases. Depover voit deux grands intérêts à recourir ainsi à l'ordinateur:

- il constitue un moyen d'interaction individualisé et adapté aux réponses, aux préalables et au cheminement spécifique de chaque élève;
- il contrôle un nombre important de facteurs d'apprentissage, notamment ceux qui relèvent de la rétroaction et qui en font l'outil de l'enseignement adaptatif par excellence.

Voilà des arguments de poids pour défendre l'utilisation de ce média dans le contexte d'une auto-évaluation formative liée à une planification de l'enseignement.

Par ailleurs, les ordinateurs et les logiciels disponibles présentent d'autres intérêts: leur simplicité d'utilisation les rend accessibles même à qui n'est pas familiarisé avec les micro-ordinateurs. Ils offrent des possibilités intéressantes de traitement visuel; ils permettent un branchement multiple plutôt qu'une approche linéaire; ils peuvent assumer une bonne partie de la compilation des renseignements et des notes obtenues lors des différentes séances d'auto-évaluation; enfin, ils sont interactifs.

Sur un autre plan, nous croyons que les méthodes actuelles de programmation permettent le développement d'instruments qui dépasseront

---

8 DEPOVER, C. *L'ordinateur média d'enseignemen, un cadre conceptuel*. 1987, p. 27-36.

9 DEPOVER, C. *L'ordinateur média d'enseignemen, un cadre conceptuel*. 1987, p. 38.

l'évaluation par la simple reconnaissance de la *bonne réponse*. Plus précisément, la programmation axée sur la conception d'«objets» utilise la représentation graphique, non plus seulement à des fins d'illustration, mais aussi comme forme de présentation synthétique ou intégratrice des connaissances, ce qui autorise des interfaces questions-réponses sous forme de réseaux de concepts, par exemple. D'ailleurs, des chercheurs américains qui ont récemment eu recours au média informatique pour explorer des réseaux de concepts ont tiré de leur expérience les recommandations suivantes:

> «L'ordinateur devrait avoir de bonnes capacités graphiques, facilitant la construction de cartes de concepts... Une souris ou tout autre outil permettant de pointer à l'écran devrait réduire la quantité de texte que les utilisateurs ou les utilisatrices ont à entrer. L'ordinateur devrait pouvoir lire et imprimer l'information graphique. L'ordinateur devrait être rapide et doté de beaucoup de mémoire.
>
> Un programme est requis pour faciliter le dessin des cartes de concepts à l'ordinateur et pour les relier en un vaste réseau. Le logiciel devrait être facile à apprendre afin que les étudiants et les étudiantes de niveau collégial commencent tôt à dessiner leurs propres cartes, tout de suite après avoir acquis des connaissances suffisantes en biologie et en technique de dessin des cartes conceptuelles...
>
> Un ordinateur qui offre certaines de ces caractéristiques est le Macintosh...[10]»

Rétroactions et auto-évaluation

L'interactivité de l'ordinateur, couplée à sa vitesse de traitement et à son infatigabilité, demeure l'aspect le plus intéressant de ce média. L'interactivité dévolue à l'ordinateur prend habituellement la forme d'une rétroaction. La qualité de l'interactivité se mesurera donc en grande partie par la qualité de la rétroaction.

Une bonne rétroaction doit tout d'abord indiquer l'écart entre la réponse donnée et celle attendue. Voici ce qu'en dit Depover:

> «Malheureusement, le recours à un feed-back de ce type (feed-back discriminatif -permettant de situer l'écart existant entre son comportement et le comportement attendu-) est loin d'être aussi

10 CALLMAN, J., et al. «Computer-Based Semantic Network in Molecular Biology: A Demonstration» conférence prononcée lors de la «Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching» (San Francisco, 28 mars au 1er avril 1986). Notre traduction.

répandu que la technologie informatique mise en œuvre pourrait le laisser espérer. Souvent encore, seul un «oui» ou un «non» ponctue la réponse de l'élève et, bien que la réponse correcte soit le plus souvent fournie, les éléments qui devraient amener l'élève à discriminer entre celle-ci et la réponse qu'il a proposée sont absents[11].»

En deuxième lieu, une rétroaction doit être pertinente et motivante. Pour y arriver, le même auteur suggère qu'elle retourne un indice visuel de la progression vers le but à atteindre:

«Une attention particulière doit être apportée à éviter de démotiver l'élève en lui présentant des feed-back inadaptés à la situation. BETZ a montré que les élèves commettant un nombre important d'erreurs faisaient preuve d'un niveau de motivation inférieur lorsque le feed-back attirait avec trop d'insistance l'attention sur leurs faiblesses. À l'inverse, le fait de présenter des feed-back laudatifs lorsque l'élève réussit au troisième essai, après plusieurs aides successives, ne manque pas de lasser la plupart des apprenants.

Une forme de feed-back dont le caractère motivant a souvent été souligné consiste à visualiser les progrès de l'élève par rapport au but à atteindre[12].»

Il faut souligner aussi l'importance qu'accorde l'auteur à la forme visuelle de la rétroaction:

«Dans le même souci de présenter aux élèves des feed-back qui soient adaptés à leur niveau de compréhension, de nombreux auteurs ont eu recours aux graphiques ou à l'animation.

Une étude fo[illegible] intéressante réalisée par LUTZ montre que, non seulement la valeur informative de ce type de feed-back est comparable à celle des feed-back verbaux, mais qu'en plus ils contribuent à améliorer l'attention et la motivation des élèves[13].»

Le moment de la rétroaction doit aussi être choisi à dessein. Depover suggère de combiner la rétroaction immédiate, spécialement adaptée aux opérations cognitives de faible niveau et aux étudiants et étudiantes faibles, avec la rétroaction différée, convenant dans le cas d'opérations de haut niveau et aux étudiantes et étudiants forts:

«Lorsqu'on s'intéresse à des tâches peu significatives (apprentissage de syllabes non significatives, par exemple), on retrouve chez l'homme la même tendance que chez l'animal: les délais entre réponses et feed-back les plus courts sont les plus efficaces. Par contre, pour des tâches de niveau plus élevé, la règle

---

11 DEPOVER, C. *L'ordinateur média d'enseignemen, un cadre conceptuel*. 1987, p. 98-106.

12 DEPOVER, C. *L'ordinateur média d'enseignemen, un cadre conceptuel*. 1987, p. 104.

13 DEPOVER, C. *L'ordinateur média d'enseignemen, un cadre conceptuel*. 1987, p. 100.

du feed-back immédiat ne semble plus s'appliquer avec la même constance.

...Gaynor [...], se référant à la taxonomie de Bloom, a pu montrer qu'alors que le feed-back immédiat facilite des apprentissages de l'ordre de la connaissance, un feed-back différé à la fin de la séance d'apprentissage était plus efficace pour des situations relevant de la conceptualisation et de l'application. Un feed-back présenté en fin conduit également, selon cet auteur, à des résultats supérieurs lorsque l'apprentissage porte sur un matériel abstrait...

Ces recherches mettent en évidence le danger qu'il y a d'appliquer certains principes didactiques pourtant communément acceptés, sans tenir compte des circonstances et des conditions particulières dans lesquelles on les applique. Ainsi les résultats rapportés ici montrent clairement que, bien qu'il existe des circonstances où il est préférable de fournir un feed-back immédiat (élèves faibles, contenus concrets, activités cognitives de niveau taxonomique peu élevé), d'autres circonstances justifient un feed-back différé (élèves forts, contenus abstraits, activités cognitives de niveau taxonomique élevé)[14] »

14 DEPOVER, C. *L'ordinateur média d'enseignement, un cadre conceptuel*. 1987, p. 106.

Quel modèle de représentation des connaissances retenir?

La première question de recherche à laquelle nous nous sommes attaqués portait sur le type de modèle de représentation des connaissances à retenir pour notre système informatisé d'auto-évaluation formative. Cette question était primordiale dans la mesure où il faut donner à la personne qui s'auto-évalue une rétroaction significative sur sa progression vers le but à atteindre, soit la maîtrise d'un domaine de savoir. C'est dans les recherches gravitant autour de l'intelligence artificielle que nous avons trouvé la base de ce modèle de représentation des connaissances.

L'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est une science qui «s'inscrit dans le cadre des nouvelles technologies axées principalement sur la simulation d'activités intellectuelles[15]». De toutes les nouvelles technologies dont il peut être question ici, l'informatique est la plus importante.

L'intelligence artificielle s'oppose à l'informatique dite classique par son mode de traitement des connaissances et par l'exécution de sa programmation. Dans le cas de l'informatique classique, que l'on qualifie aussi de procédurale, l'information est partie intégrante des procédures qui assurent son traitement et l'exécution du programme fait appel à un algorithme préétabli. À l'opposé, l'intelligence artificielle utilise une approche non procédurale. Par le terme d'heuristique qu'on emploie parfois pour qualifier cette approche, on entend qu'elle ne repose pas uniquement sur des cheminements prédéterminés. L'ordinateur part de faits connus, pose des hypothèses, les vérifie, remonte en arrière pour chercher des connaissances complémentaires, prend des décisions face à des situations qui n'étaient pas prévues au moment de la préparation du programme.

Si on néglige les aspects mythologiques (l'homme-machine du Golem à Frankenstein) et philosophiques (la nature de la pensée) de cette science pour la considérer sous ses aspects plus techniques, on constate que l'intelligence artificielle a surtout été utilisée pour résoudre le plus efficacement possible deux types de tâches. Les premières sont liées aux opérations intellectuelles

---

15 LÉVESQUE, A. «La genèse de l'intelligence artificielle», dans *Sociologie et intelligence artificielle*, 1988, p. 21.

strictes, comme la prise de décision et la compréhension. Les secondes rassemblent des tâches sensorimotrices, telles la reconnaissance visuelle et la coordination des mouvements. L'apport de l'intelligence artificielle aux tâches du premier type contribuent le plus à notre effort pour définir un modèle de représentation des connaissances.

La typologie des connaissances

Le fonctionnement d'un ordinateur dans un environnement simulant l'acte intelligent exige un traitement particulier des connaissances. En effet, il faut que les connaissances soient structurées de la même manière qu'elles le sont chez l'Homme. Par ailleurs, ce traitement doit aussi prendre en considération le mode d'organisation des connaissances mémorisées afin de construire des bases de connaissances permettant de décrire les informations et les différentes associations susceptibles d'être établies entre celles-ci. C'est pourquoi une des premières entreprises de l'intelligence artificielle a été de produire une typologie des connaissances. La typologie la plus courante comprend trois types de connaissances[16], soit les connaissances déclaratives, les connaissances procédurales et les métaconnaissances.

La distinction entre les connaissances déclaratives et les connaissances procédurales occupe désormais le premier chapitre de tout livre traitant de l'intelligence artificielle. En revanche, les métaconnaissances ne sont pas toujours évoquées.

Les connaissances déclaratives

Les connaissances déclaratives sont des connaissances de définition. On les considère comme des connaissances statiques. Elles se réfèrent au *quoi* des objets et correspondent à ce que l'on en sait. Vogel[17], un ingénieur cogniticien formé d'abord en ethnologie, propose de formaliser la discrimination, au sein des connaissances déclaratives, entre celles qui relèvent d'un savoir classificatoire et celles qui relèvent d'un savoir actantiel. Le savoir classificatoire traite de la distinction des objets tandis que le savoir actantiel traite des aspects dynamiques des objets.

La savoir classificatoire concerne les attributs discriminants, les rapports colatéraux ou de filiation des objets. Vogel insiste sur le caractère universel et fondamental de cette activité intellectuelle:

> «Le savoir naturel est d'abord classificatoire, «on classe comme on peut, mais on classe» (Lévi-Strauss), ce que confirment les nombreux travaux des psychologues menés depuis Piaget sur la

16 GALLAIRE, H. «La représentation des connaissances», dans *La recherche*, vol. 16, n°170 (octobre 1985), p. 1240-1248.

17 VOGEL, C. *Génie cognitif*. 1988, p. 97.

> place des opérations de sériation dans la structuration des opérations logiques chez l'enfant. Du point de vue de la relation avec l'environnement, classer signifie reconnaître un certain nombre de discontinuités vitales...
>
> ...le degré d'achèvement du savoir d'un expert [est] fonction de la qualité de la classification qu'il est capable de proposer, mesurée en termes de densité, profondeur, largeur et homogénéité[18].»

Le savoir actantiel traite pour sa part, des aspects dynamiques ou évolutifs connus des objets, de ce que l'on appelle des *transformations*.

> «Les actinomies organisent des séquences d'actions, et combinent des changements d'état sur des objets associés dans un réseau dynamique recoupant les réseaux taxinomiques...
>
> ...le support des actinomies est avant tout temporel...
>
> Les actinomies se développent... de façon descendante, par paraphrases successives, en décomposant chaque fonctionnalité de façon incrémentale...
>
> Les actinomies organisent l'action par une extension successive d'enchâssements[19].»

Les connaissances déclaratives sont toujours considérées en dehors du contexte de leur exploitation. Par exemple, le fait que l'on connaisse la règle de division des fractions n'implique pas que l'on saura résoudre un problème portant sur cette connaissance. Nous savons aussi tous que connaître l'adresse d'un lieu n'implique pas que nous sachions nous y rendre ni choisir l'itinéraire le mieux adapté aux conditions routières, aux conditions météo, etc.

Les connaissances procédurales

De leur côté, les connaissances procédurales correspondent aux connaissances déclaratives utilisées dans un contexte particulier pour résoudre un problème donné. Ce sont des connaissances dynamiques. Elles correspondent au *comment*. Elles impliquent toujours plus qu'un rappel ou une utilisation des connaissances déclaratives telles quelles. En intelligence artificielle, on dit que les connaissances procédurales expriment l'expertise d'un individu dans un domaine. En d'autres termes, elles sont à l'origine de son savoir-faire. C'est grâce à ce type de connaissances que des faits nouveaux peuvent être déduits des données initiales d'un problème et que des solutions peuvent être apportées à des problèmes particuliers. Pour reprendre le même exemple, c'est grâce à ces connaissances procédurales que nous pouvons analyser le problème que pose le choix du meilleur itinéraire en fonction des conditions du moment. Généralement, les connaissances procédurales se présentent sous

---

18 VOGEL, C. *Génie cognitif*. 1988, p. 97.

19 VOGEL, C. *Génie cognitif*. 1988, p. 38-40.

forme de règles de production contenant une ou plusieurs prémisses et une déduction. Ces règles de production sont souvent exprimées par la formulation «si..., alors...».

Les métaconnaissances

Les métaconnaissances sont des connaissances qui portent sur les mécanismes d'acquisition des connaissances. Ce qui distingue la métaconnaissance des autres connaissances ce n'est pas son degré de complexité mais son objet: l'auteur du savoir lui-même. La métaconnaissance utilise l'évaluation pour développer sinon la conscience, du moins l'autodétermination.

Doté de métaconnaissances, un logiciel pourra non seulement apprendre par interrogation mais aussi par déduction, à la suite d'une analyse de ses erreurs. Une procédure métacognitive fournit une correction de la procédure d'acquisition ou de traitement des connaissances.

La classification des savoirs selon l'intelligence artificielle, telle que nous venons de la présenter, est résumée sous forme d'arbre à la figure 1.

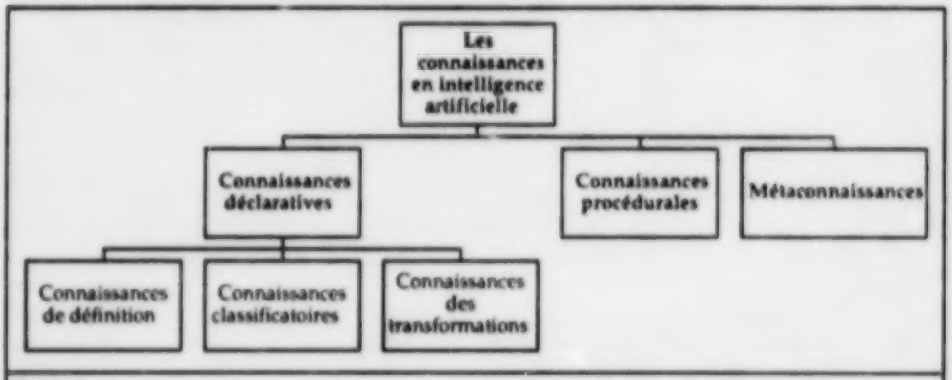

Figure 1

Arbre de la typologie courante des connaissances en intelligence artificielle.

La représentation des connaissances

La typologie que nous venons de présenter classe le savoir en différentes catégories mais elle n'organise pas le *sens* de ce savoir. Pourtant, le *sens* du savoir est un problème crucial en intelligence artificielle qui s'est posé quand on a voulu transférer le savoir d'un détenteur initial à un logiciel. On l'a résolu en se dotant de *langages* traduisant le sens de ce savoir dans des formes

utilisables pour la programmation des logiciels. Cette traduction s'appelle la **représentation des connaissances.**

Drouin et Lorrain définissent ainsi ce qu'il faut entendre par *représentation des connaissances*:

> «• ...une représentation est un ensemble de conventions sur la façon de décrire une classe d'objets... une représentation est "un ensemble de conventions syntaxiques et sémantiques qui fait qu'il est possible de décrire les objets" (Winston, 1984: 252).
>
> • ...[à propos de] la syntaxe, Winston nous dit que c'est "ce qui spécifie les symboles qui peuvent être utilisés et les façons dont les symboles seront arrangés" (Winston, *Idem*).
>
> • La sémantique, enfin, est ce qui spécifie comment le sens est incorporé dans les symboles et quels sont les arrangements symboliques qui sont permis par la syntaxe (Winston, *Idem*)[20].»

De leur côté, Fischler et Firschein écrivent:

> «Une représentation d'une situation (ou d'un objet, ou d'un problème) est une traduction de cette situation en un système constitué d'un vocabulaire établi pour nommer les choses et les relations, les opérations qui peuvent être faites sur ces choses ainsi que des faits et des contraintes relatifs à ces choses. Les traits distinctifs majeurs d'une représentation sont:
>
> a) la nature de l'information explicitée;
>
> b) l'encodage de cette information.
>
> Le but d'une représentation est de faciliter la résolution d'une classe restreinte de questions portant sur une situation donnée, ce qui fait qu'une représentation est construite selon un objectif à atteindre[21].»

Les ingénieurs cogniticiens, à qui incombe la tâche de traduction, font usage courant de trois types de langages ou de représentations des connaissances. Ce sont respectivement les énoncés, les schèmes et les réseaux dont font partie les arbres.

Énoncés: déclarations, règles et procédures

Un savoir peut être traduit par des énoncés. Ces énoncés prennent la forme de déclarations, sortes d'énoncés invariables sur les objets à traiter: «Le crâne de Broken Hill est un spécimen de type *Homo Sapiens* archaïque», ou «La

---

20 DROUIN, G. et F. LORRAIN, «Les formes de représentation de la connaissance» , dans *Sociologie et intelligence artificielle*. 1988, p. 88.

21 FISCHLER, M. A. et O. FIRSCHEIN. *Intelligence The Eye, the Brain, and the Computer*. 1987, p. 66.

première étape d'une fouille archéologique est le carroyage du site». Les énoncés de ce type constituent la base de connaissances d'un système expert.

Le moteur d'inférence du système expert, utilisé pour manipuler les déclarations et produire des conclusions, devra, de plus, accéder au savoir procédural qui lui indiquera les règles de combinaison et de conclusion. Ces règles sont le plus souvent traduites sous forme d'énoncés du type «si (prémisses)... alors (conclusion)» comme dans le cas suivant: «Si le crâne trouvé ressemble plus, pour les points morphologiques importants, à un spécimen qu'à tous les autres, alors le crâne trouvé sera du même type que le spécimen.»

L'avantage de la représentation sous forme d'énoncés réside dans la facilité de l'exploiter avec un moteur d'inférence très simple. Malheureusement, tout exprimer par énoncés demande beaucoup de temps. Des systèmes experts encore simples utilisent facilement plus de 5 000 énoncés.

Schèmes

Constatant que des énoncés ont souvent des structures homologues, certains ingénieurs cogniticiens ont pensé utiliser une représentation graphique pour distinguer l'invariant du variant.

Marvin Minsky a proposé le terme de *frame*, que nous traduisons par celui de schème, pour désigner cette représentation où se distingue le variant de l'invariant. Le schème est une structure générique de données applicable à une situation stéréotypée et permettant de représenter la réalité. Les schèmes permettent de décrire de façon détaillée un univers décomposé en classes d'objets, chaque classe d'objets étant représentée par l'ensemble des propriétés communes à ces objets.

Pratiquement, les schèmes sont constitués par une série de cases (figure 2). Chaque case concerne à un attribut particulier de l'objet et contiendra des données particulières. Ainsi, le schème relatif aux reptiles sera constitué de cases se rapportant à la nature de l'appareil locomoteur, à la nature des téguments externes (écailles), à la couleur de ces téguments, à la taille, à la régulation thermique, au mode de reproduction, au mode de capture des proies, etc. Pour chaque espèce de serpent, chaque case prendra une valeur définie et particulière. Par exemple, la case «couleur» pourra être brune, noire, verte, etc., alors que les cases «appareil locomoteur» et «mode de reproduction» auront toujours les mêmes valeurs puisque tous les serpents sont ovipares et dépourvus de pattes[22]. Ainsi, avec un schème réalisé sur ce principe mais plus élaboré, on pourrait faire ressortir les différences entre le boa, l'anaconda, la couleuvre, la vipère, le serpent à sonnette, etc.

---

22 Sauf exception.

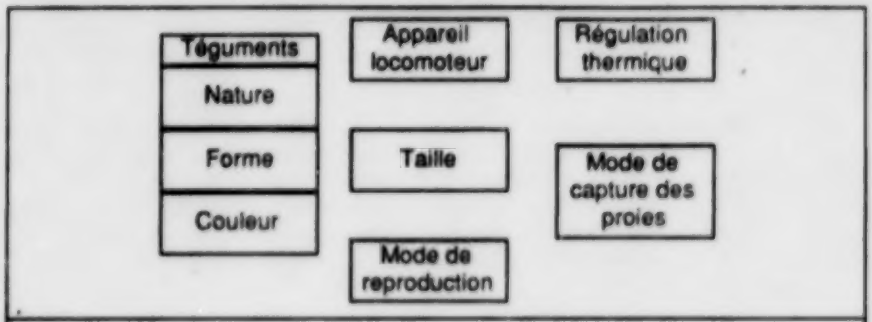

Figure 2

Exemple de schème pour les attributs d'un reptile.

Le remplissage des cases d'un schème obéit à des règles strictes. La première règle établit la liste des valeurs possibles pour cette case (la case «couleur» pourra contenir: brune, noire, verte) et la deuxième précise les conditions de combinaison de ces valeurs (brun *et* noir *ou* vert). Ces règles sont parfois particulièrement complexes à établir, comme on peut l'imaginer quand il s'agit de définir la couleur du caméléon!

Réseaux et arbres

Nous avons trouvé chez Drouin et Lorrain[23] une bonne présentation des réseaux et des arbres. Nous avons adopté leur définition de ces modes de représentation graphique des connaissances.

Les réseaux sont des représentations graphiques présentant des unités de connaissance et des relations entre ces unités. Les arbres constituent un type particulier de réseaux adapté soit à la représentation de relations hiérarchiques entre les unités, soit à la séquence d'une prise de décision.

Le nœud (*node*) est l'unité de connaissance de base (concept) dans un réseau ou dans un arbre. Il est habituellement représenté par une case carrée, rectangulaire, circulaire, etc.

Les liens ou chaînons (*links*) relient les nœuds d'un réseau. On les représente généralement par un trait. Dans le cas des arbres, ces connexions sont appelées branches.

Dans les arbres hiérarchiques, on fait usage d'un vocabulaire inspiré de la généalogie pour traduire la relation hiérarchique d'héritage. Selon ce

---

23 DROUIN, G. et F. LORRAIN, «Les formes de représentation de la connaissance», dans *Sociologie et intelligence artificielle*, 1988.

principe, un élément appartenant à une classe possède forcément les attributs de cette classe auxquels s'ajoutent des attributs singuliers. Le nœud parent désigne celui qui est au-dessus d'autres nœuds. Le nœud enfant est au-dessous d'un nœud parent. Celui-ci est l'ancêtre du nœud enfant, lequel est le descendant du nœud parent. Le nœud racine est celui qui coiffe la hiérarchie et n'a pas de parent alors qu'un nœud terminal se retrouve au bas de la hiérarchie et n'a pas d'enfant.

Développer un nœud veut dire dessiner les enfants de ce nœud. Par convention, un nœud est dit ouvert si tous ses enfants ne sont pas représentés. À l'opposé, un nœud dit fermé désigne un nœud complètement développé (figure 3).

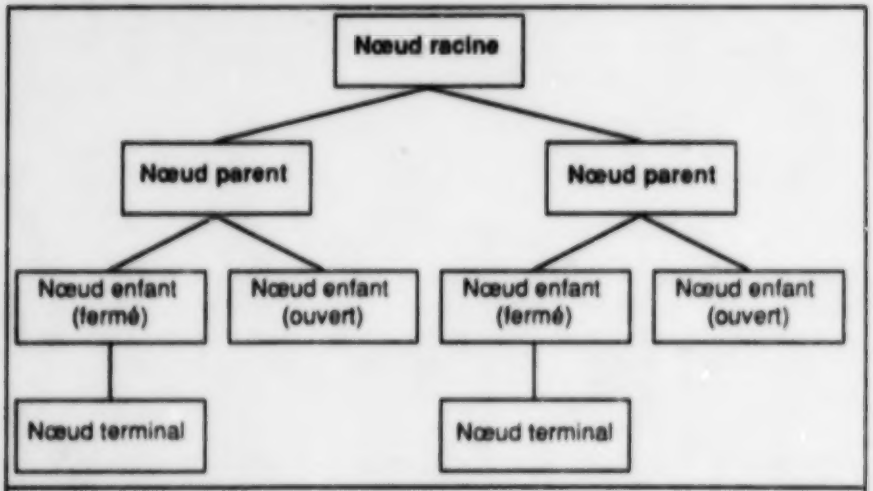

Figure 3

Exemple et terminologie d'un arbre hiérarchique.

La typologie des connaissances utilisée en intelligence artificielle de même que les différentes formes de représentations de ces connaissances servent à la constitution de systèmes experts. En quoi peuvent-elles être utiles dans le cadre d'un système pour experts? Elles pourraient l'être dans la mesure où elles permettraient aux experts de structurer la représentation qu'ils se font de leurs connaissances. Dans un système évaluatif, il serait possible de comparer la représentation élaborée par l'élève avec celle qu'a construite le professeur, pour lui retourner un indice de sa progression.

Ainsi, on pourrait demander à l'étudiant ou à l'étudiante de formuler des énoncés déclaratifs, des règles et des procédures pour les comparer aux énoncés que le professeur a formulés au cours de sa planification. Les

dissonances pourraient déclencher des rétroactions selon qu'elles affectent un savoir déclaratif ou procédural. On pourrait aussi lui demander de remplir les cases de schèmes selon les règles apprises et, là encore, lui signaler les désaccords entre son travail et celui de l'enseignant ou de l'enseignante. Enfin, l'élève pourrait être amené à dessiner des réseaux et des arbres qui seront comparés à ceux de son professeur.

Face à cette perspective fort attrayante, il a fallu poser deux questions fondamentales. Peut-on réellement utiliser des outils de représentation des connaissances de l'intelligence artificielle pour bâtir un système informatisé d'auto-évaluation formative? Peut-on utiliser indifféremment les différentes formes de représentation des connaissances ou faut-il plutôt réserver chaque forme de connaissance pour une stratégie particulière?

Nous avons trouvé réponse à ces questions en approfondissant le domaine général des sciences cognitives, dont l'intelligence artificielle n'est qu'une partie.

Les sciences cognitives

Présentation des sciences cognitives

On désigne parfois par le terme *cognitivisme* le substrat commun à des approches récentes dans différentes sciences. Ce substrat affleure parfois à la surface de ces sciences au point qu'elles ont fini par être qualifiées à leur tour de cognitives. Nous avons repris de Dubé[24] une très bonne histoire du cognitivisme qui rappelle que le cognitivisme est au carrefour de plusieurs disciplines.

Comment s'est faite l'élaboration du cognitivisme? En empruntant à diverses sciences (psychologie, neurologie, cybernétique, science de l'information) des découvertes scientifiques importantes du XXe siècle et en les synthétisant de façon particulière.

À la psychologie de la forme, le cognitivisme a emprunté l'idée que la connaissance s'acquiert aussi «de l'intérieur» et non pas uniquement par stimulation extérieure comme le prétend le béhaviorisme.

De la théorie de l'intelligence selon Piaget, les cognitivistes ont retenu que la connaissance s'élaborait par échanges entre le sujet qui apprend et l'objet à connaître; de plus, le sujet relie les nouvelles connaissances à des connaissances antérieures par l'intermédiaire de la structuration qu'il fait de celles-ci et de celles-là; les structures évoluent selon l'expérience; elles ne sont pas innées et fixes bien qu'elles soient internes.

---

24 DUBÉ, L. *Psychologie de l'apprentissage de 1880 à 1980*. 1986, p. 149-364.

La neurobiologie a montré que le fonctionnement physiologique du cerveau permet d'expliquer, du moins partiellement, les mécanismes de la connaissance et a mis en valeur le rôle actif du cerveau dans l'élaboration des connaissances[25]. Elle a aussi établi que les différentes activités mentales différentes relèvent d'aires ou de composantes différentes du cerveau, telles le corps calleux, l'hippocampe, etc., et qu'elles mettent en jeu différents types de neurones.

De son côté, la cybernétique a mis à jour le fonctionnement des systèmes autorégulés qui reçoivent des messages organisés et qui réagissent sur-le-champ aux messages qui leur sont envoyés, de telle sorte qu'on peut comprendre le fonctionnement de ces systèmes en regardant ce qui y entre et ce qui en sort.

Enfin, la théorie du traitement de l'information a synthétisé ces différentes découvertes: elle s'est intéressée à la manière dont l'être humain recueille, emmagasine, modifie et interprète l'information provenant de l'environnement ainsi que l'information accumulée à l'intérieur de l'individu.

À partir de ces approches, les sciences cognitives ont modifié les idées que l'on se faisait de l'apprentissage. Aujourd'hui, il est vu comme un phénomène de traitement de l'information faisant intervenir des processus cognitifs particuliers encore mal connus et dans lesquels la mémoire joue un rôle prépondérant.

Plus précisément, on sait que les apprentissages sont influencés par les attitudes et les perceptions de l'élève au moment où ils les entreprend. On a découvert aussi que les connaissances pouvaient être divisées en connaissances déclaratives et en connaissances procédurales et que chaque catégorie de connaissances se référait à des opérations mentales différentes (nommer, reconnaître, identifier, etc., ou comparer, ordonner, relier, inclure, etc.). Enfin, on a montré que les nouvelles connaissances s'ajoutaient à celles acquises antérieurement, ce qui entraînait un remaniement des représentations mentales permettant l'intégration des connaissances dernièrement acquises.

Comme on le voit, la plate-forme qui supporte l'outillage de l'intelligence artificielle est assez large pour soutenir également des approches en psychologie de l'apprentissage et en pédagogie. Il y a de quoi encourager notre voie de développement. Si l'intelligence artificielle utilise une représentation du savoir empruntée aux spécialistes du fonctionnement du cerveau humain, pourquoi ne pas, à rebours, tirer parti de cette représentation pour intervenir dans le fonctionnement du cerveau? Énoncés de faits, de règles, de procédures, ou construction de schèmes et de réseaux

---

25 CHANGEUX, J.-P. *L'homme neuronal*. 1983, p. 85.

seraient alors les outils «naturels» de l'apprentissage. Ce triomphalisme est toutefois contesté au sein même de l'approche cognitiviste.

L'autopoïèse

Tous les échanges entre la psychologie cognitive et l'intelligence artificielle n'ont pas eu, en effet, que d'heureux effets, comme en témoigne ce «paradigme de l'ordinateur» né d'une certaine école de pensée travaillant à reproduire la démarche de l'esprit humain. En effet, certains cognitivistes qui n'ont pas peur d'abuser de la métaphore comparent et réduisent l'esprit humain à un ordinateur. Ils emploient volontiers les termes de mémoire à court terme, de mémoire à long terme, de stockage de l'information, de codage, de décodage ou de procédure, assimilant les structures mentales ou les opérations qui s'y déroulent aux composants les plus grossiers des ordinateurs: la mémoire vive, la mémoire de masse, les enregistrements magnétiques, les langages de programmation et les programmes eux-mêmes...

Plus récemment, des chercheurs se sont démarqués de ce paradigme. Parmi ceux-là, Francisco Varela décrit le cognitivisme dans les termes suivants:

> «La principale intuition [de] Herbert Simon, Noam Chomsky, Marvin Minsky et John McCarthy... était que l'intelligence (y compris l'intelligence humaine) est tellement proche de ce qu'est intrinsèquement un ordinateur que la cognition peut être définie par la computation de représentations symboliques. Le cognitivisme est une désignation commode pour cette orientation vaste mais bien délimitée, qui a motivé plusieurs développements scientifiques et technologiques depuis 1956, dans les secteurs de la psychologie, de la linguistique, d'une large part des neurosciences, et, bien sûr, de l'intelligence artificielle[26].»

Cet auteur exhorte à la prudence à l'égard de ce paradigme. Il propose plutôt de décrire les fonctions cognitives comme un système complexe doté de propriétés d'auto-organisation et d'autodétermination; il qualifie ce système d'autopoïétique. L'autopoïèse se réfère à la capacité d'autodirection, une faculté supérieure réservée aux systèmes les plus complexes. Cette fonction est assurée par un observateur extérieur au système qui décrit continuellement la séquence des états d'activités neuronales et qui, en d'autres termes, s'auto-évalue continuellement. Équivalent du Soi, ou de la conscience, cet observateur modifie l'ensemble des états neuronaux par l'évaluation des états antérieurs. Il y a ainsi récursion des états sur eux-mêmes. Cette faculté s'appelle la récursivité et elle se traduit en termes pédagogiques par l'auto-évaluation.

---

26 VARELA, F. *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*. 1988, p. 35-36.

Dans la perspective que nous venons de décrire, l'auto-évaluation est donc indissociable des processus cognitifs et s'assimile à la métaconnaissance[27]. De plus, l'approche autopoïétique considère la connaissance comme un système complexe et s'appuie sur le postulat que le tout est toujours plus que la somme de ses parties et que l'esprit humain fonctionne de façon intégrée.

L'assimilation des fonctions de l'observateur à celles de l'auto-évaluation ainsi que la notion de récursivité constituent pour nous les principaux apports de la perspective autopoïétique que nous allons intégrer à notre modèle de représentation des connaissances. Nous endossons également la sévère critique que le courant autopoïétique formule à l'égard du paradigme de l'ordinateur et nous concluons que si les outils de l'intelligence artificielle peuvent s'avérer utiles, en aucun cas ils ne peuvent être qualifiés de naturels: ils ne demeurent, entre les mains de l'observateur, que ce qu'ils sont, c'est-à-dire des outils et rien d'autre.

La représentation graphique des connaissances

Les études entreprises en psychologie cognitiviste ont contribué à résoudre le problème posé par la production de modèles de représentation des connaissances en faisant appel à la schématisation. C'est ainsi que les travaux d'un des pionniers de la pédagogie cognitiviste, le Dr Ausubel[28], ont débouché sur l'idée de représenter graphiquement l'organisation des connaissances sous forme de schémas dont la figure 4 est un exemple. Partant du principe fondamental qu'apprendre revient à établir des liens entre les concepts connus et les concepts nouveaux, et que le facteur le plus important influençant l'apprentissage est ce que l'apprenant sait déjà, Ausubel a cherché à définir les éléments d'une méthode d'apprentissage signifiant, c'est-à-dire une méthode d'apprentissage dans laquelle les nouveaux concepts sont reliés consciemment à la structure cognitive de l'apprenant. Dans cette forme d'apprentissage, l'apprenant doit chercher à comprendre. Cet apprentissage signifiant s'oppose à l'apprentissage machinal qui fait appel à des automatismes tels que la mémorisation et la répétition qui ne font pas intervenir la réflexion.

Dans l'esprit d'Ausubel, apprendre est donc un processus dynamique dans lequel les nouvelles informations sont intériorisées et les anciennes sont modifiées selon certains principes d'organisation et de traitement (tableau 2). Au cours des apprentissages successifs, les nouvelles connaissances sont

---

27 On trouve chez R. DESROSIERS-SABBATH (*Comment enseigner les concepts, vers un système de modèles d'enseignement*, 1984, p. 50) la définition suivante de la métaconnaissance: «une forme de connaissance que le sujet a de sa propre activité cognitive, connaissance qui porte sur les buts et les stratégies qu'il utilise pour atteindre ceux-ci.»

28 AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology: a Cognitive View*. 1968, 685 pages.

intégrées, organisées et reliées hiérarchiquement les unes aux autres selon leur degré de généralité. Seules les connaissances les plus générales et les plus inclusives sont immédiatement disponibles[29].

Tableau 2
Principes d'organisation et de traitement des connaissances selon Ausubel.

Modes d'organisation	Remarques
Corrélation	Le nouveau concept transforme le concept d'ancrage.
Inclusion	Un concept plus général et plus englobant sert de point d'ancrage au nouveau concept.
Combinaison	Le nouveau concept relie plusieurs concepts présents dans la structure cognitive.
Subordination	Le nouveau concept est plus général que le concept d'ancrage.

Un outil: les réseaux de concepts

La théorie d'Ausubel a conduit Novak et Gowin à produire un nouvel outil d'apprentissage, le réseau de concept, qui permet de représenter les concepts et les relations entre ces concepts. Au sens général, ces réseaux sont des réseaux sémantiques, représentés sous forme de diagrammes.

Une des caractéristiques fondamentales de ces réseaux est leur structure hiérarchique: le concept le plus général ou le plus inclusif se trouve en haut du réseau. Il en forme la racine et sert de point d'ancrage aux concepts plus spécifiques ou moins inclusifs qui se trouvent en-dessous. Comme l'illustre la figure 4, les concepts sont inscrits dans des bulles; ils sont reliés par des lignes (qui n'indiquent pas de direction) et un mot lien définit la relation. Ce mot lien est d'une grande importance: il est à l'origine de la richesse du réseau.

Les réseaux de concepts sont donc des diagrammes hiérarchiques qui tentent de refléter l'organisation des concepts d'une discipline ou d'une de ses parties; ils découlent de la structure conceptuelle d'une discipline. Ces réseaux connaissent de multiples applications: on les utilise notamment dans le développement et la représentation du contenu d'un domaine de savoir, dans l'enseignement et comme outil d'évaluation formative ou sommative.

---

29 On trouvera dans le rapport de recherche *Les réseaux de concepts au laboratoire* un résumé plus détaillé de la théorie de l'apprentissage élaboré par Ausubel. (LOISELLE, R. et S. ROULEAU, avril 1991, p. 10-13).

De nombreux chercheurs ont contribué à établir la validité des réseaux de concepts ou d'autres formes de représentation graphique du savoir dans plusieurs domaines tout en élargissant leur champ d'application[30].

Les schémas de concepts permettent de représenter des concepts et leurs relations sous forme de propositions: comme les propositions sont formées de deux concepts ou plus, liés entre eux par des mots dans une unité sémantique, les schémas peuvent être dessinés de telle sorte qu'ils expriment non seulement les concepts, mais aussi des propositions. Ainsi, dès lors que la dessinatrice et le dessinateur nomment les liens qui relient un concept à un autre à l'aide d'un mot ou deux, ils construisent leur propre façon d'organiser un ensemble de concepts, ils renseignent sur la nature et la signification des liens établis ainsi que sur la capacité de faire appel aux concepts pertinents pour résoudre un problème particulier. De plus, ils se donnent une image de leur propre connaissance, ce qui peut les aider à développer d'autres capacités ou remédier aux défaillances qui ont été identifiées.

Cependant, les techniques de schématisation n'ont pas que des avantages, elles présentent aussi plusieurs limites. Parmi celles-ci, mentionnons-en trois: l'impossibilité de représenter des systèmes «à catastrophe», c'est-à-dire des systèmes dynamiques évoluant de façon non linéaire, l'impossibilité de représenter les aspects quantitatifs des relations et leur application restreinte à des disciplines utilisant déjà des langages codifiés, et le problème de la nomenclature des liens, rendu encore plus crucial par l'informatisation.

---

30 Voir entre autres:

MOREIRA, M. «Concept Mapping: an Alternative Strategy for Evaluation», dans *Assessment and Evaluation in Education*, vol. 10, n° 2 (été 1985), p. 159-168.

TAYLOR, S. G. «Concept Mapping in Structural Communications», exposé fait le 28 octobre 1989 au Colloque du Conseil interuniversitaire des professeurs de technologie de l'éducation.

MITCHELL, P. D. et TAYLOR, S. G. «Learning gains through C.A.L. and concept mapping», conférence prononcée au 7e congrès annuel sur l'ordinateur et l'éducation, faculté des sciences de l'éducation de l'université McGill, Montréal, 15-16-17 novembre 1989.

JONES, B. F., J. PIERCE et B. HUNTER. «Teaching Students to Construct Graphic Representations», dans *Educational Leadership*, vol. 46, n° 4 (déc 1988-jan 1989), p. 8 et suiv.

BRETON, J. «La schématisation des concepts : un instrument de développement des habiletés conceptuelles au collégial», dans *Pédagogie collégiale*, vol. 4, n° 3, (février 1991), p. 18-23.

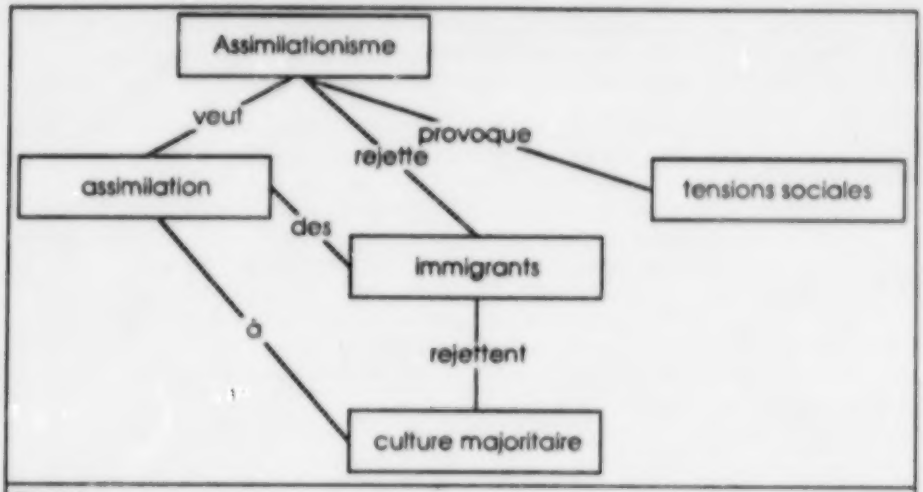

Figure 4

Exemple de réseau de concepts selon la technique de Novak et Gowin.

D'une part, les systèmes à catastrophe connaissent des changements brusques de direction à des moments précis de leur évolution. Ces moments correspondent à ceux où des paramètres du système atteignent une valeur critique au delà de laquelle tout le système part dans une nouvelle direction. Or, les schémas usuels ne peuvent représenter un système simultanément dans deux états différents, ce qui les rend incapables de décrire la catastrophe. Cette carence résulte de l'incapacité plus générale de quantifier les relations. Dans un schéma, les relations expriment des directions, des influences, des changements, mais elles ne sont pas quantifiées. Cela explique d'ailleurs que des disciplines utilisant des langages codifiés, le plus souvent mathématiques, voient moins d'utilité à recourir à la schématisation. Par contre, toutes les autres disciplines, qui utilisent le langage courant pour exprimer les relations entre les éléments du contenu, tireront profit du cadre systématique et formel de la schématisation.

D'autre part, l'évaluation des schémas est confrontée au problème de la nomenclature des liens entre les concepts. Dans la conception des réseaux de concepts selon Novak et Gowin, il n'y a aucune limite au vocabulaire employé pour décrire les relations. On peut tout autant employer un verbe, et n'importe quel verbe, une préposition, etc.

Si cette approche idiosyncrasique ne pose pas de problème en évaluation formative, elle complique la tâche du professeur qui utilise les réseaux de concepts en évaluation sommative et elle transforme en véritable casse-tête la

tâche de ceux et celles qui se sont penchés sur la conception et la correction de tels réseaux à l'aide de l'ordinateur. Nous n'avons pas échappé à cette règle.

Avons-nous trouvé le modèle de représentation des connaissances dont nous avions besoin pour construire notre environnement d'auto-évaluation? Nous avons entre les mains une typologie des connaissances ainsi qu'un certain nombre d'outils de schématisation permettant de représenter ces connaissances. Nous savons maintenant que l'usage de tout ce matériel ne se confine pas au seul domaine de l'intelligence artificielle puisqu'il provient d'un groupe de sciences de la cognition dont fait partie une tendance de la psychologie de l'apprentissage[31]. L'emploi des instruments de l'intelligence artificielle en pédagogie ne conduit donc pas à une analogie abusive mais se fonde sur une communauté d'objets.

Nous savons également que cette communauté ne saurait autoriser d'agir comme si le cerveau était un ordinateur. Plus spécifiquement, les facultés d'auto-organisation du cerveau humain peuvent être mises à profit si les outils de l'intelligence artificielle sont mis à la disposition de l'observateur pour lui faciliter sa tâche d'auto-évaluation. Le programme autopoiétique correspond donc totalement à notre objectif initial ainsi qu'à notre perspective de développement que nous avons appelé système pour experts.

En revanche, nous n'avons pas encore abordé dans ce rapport un aspect critique essentiel de la modélisation des connaissances, à savoir quelle représentation ou quelle combinaison de représentations choisir en fonction des conditions d'utilisation des connaissances? Comme ces conditions d'utilisation se rattachent à des activités pédagogiques, c'est du côté de pédagogues cognitivistes que nous sommes allés chercher réponse.

Nos assises théoriques: trois modèles cognitivistes

Les assises théoriques de notre projet de logiciel reposent sur trois modèles cognitivistes: le modèle fonctionnel des opérations mentales de Palkiewicz, les modèles de représentation des connaissances de Brien, d'une part, et de Jones, Li et Merrill, d'autre part.

Modèle de Palkewicz

Nous avons trouvé chez Jan Palkiewicz, de l'université du Québec à Montréal, un modèle fonctionnel des opérations mentales développé dans une perspective qui peut servir de point d'ancrage à la construction d'un système d'évaluation tenant compte de l'approche cognitiviste.

Le modèle de Palkiewicz repose sur le postulat que la pensée humaine est «un phénomène mental dans lequel les opérations cognitives et

---

31 Laquelle prétend substituer le terme *formation* à celui d'*apprentissage*.

métacognitives produisent différents niveaux de connaissances[32]». Plus précisément, selon cet auteur, il y a quatre types de connaissances: les connaissances empiriques, les connaissances conceptuelles, les connaissances rationnelles et les connaissances décisionnelles. Ces quatre types de connaissances sont produits par autant de fonctions opérationnelles distinctes. Ainsi, les connaissances empiriques résultent de la saisie de données, de l'activité des sens et de la conscience; les connaissances conceptuelles résultent de la mise en relation de ces données avec des données antérieures; les connaissances rationnelles résultent de la vérification par raisonnement des données reliées entre elles et les connaissances décisionnelles résultent des anticipations et des prises de décision responsables. À ces connaissances proprement dites s'ajoutent la métaconnaissance qui réfère à la planification, à la gestion interne et à l'auto-évaluation. La métaconnaissance est «une forme de connaissance que le sujet a de sa propre activité cognitive, connaissance qui porte sur les buts et les stratégies qu'il utilise pour atteindre ceux-ci[33]».

Comme l'illustre la figure 5, le centre du modèle fonctionnel des opérations mentales de Palkiewicz est la mémoire à court terme. Ce centre rayonne vers quatre nœuds interreliés et réunis par des boucles de rétroaction. Chaque nœud correspond à un type de connaissance particulier: connaissance empirique, connaissance intellectuelle, connaissance rationnelle et connaissance décisionnelle. Entre ces nœuds, il existe une voie hiérarchique de relation qui va de la connaissance empirique à la connaissance décisionnelle en passant par la connaissance intellectuelle et la connaissance rationnelle, ce qui justifie d'en parler comme autant de niveaux.

Par ailleurs, Palkiewicz établit une relation entre ces quatre niveaux de connaissance et l'existence de quatre mémoires: mémoire épisodique pour la connaissance empirique, mémoire sémantique pour la connaissance intellectuelle, mémoire procédurale pour la connaissance rationnelle et mémoire heuristique pour la connaissance décisionnelle. De plus, le passage d'un niveau hiérarchique à un niveau supérieur traduit une intégration de l'information et de la connaissance.

---

32 PALKIEWICZ, J.«Développement de la pensée et de l'action responsable dans une perspective d'acquisition de compétences au collégial», *Actes du 10e colloque annuel de l'AQPC*, juin 1990, p. 3-6.

33 DESROSIERS-SABBATH, R. *Comment enseigner les concepts, vers un système de modèles d'enseignement*. 1984, 100 p.

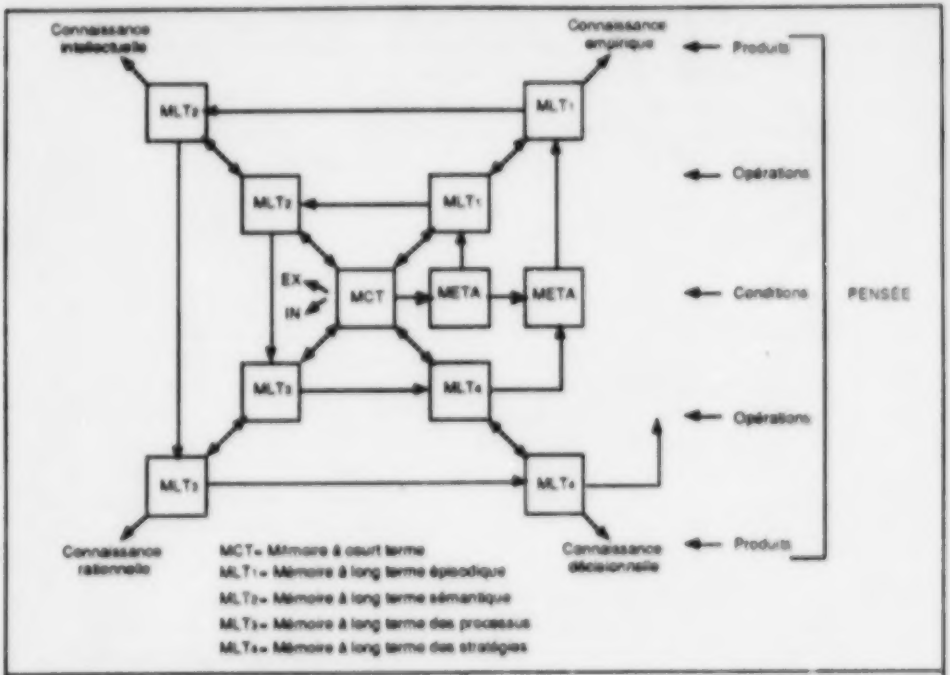

Figure 5

Modèle fonctionnel des opérations mentales de Palkiewicz[34].

De plus, chaque niveau de connaissance est caractérisé par un certain nombre d'opérations mentales et par un produit:

- la connaissance empirique qui repose sur la perception sensible et à laquelle sont liées les capacités d'identifier, de nommer, de décrire et de mémoriser;
- la connaissance intellectuelle qui repose sur la compréhension et à laquelle sont liées les capacités de classer, d'ordonner, de relier et de définir;
- la connaissance rationnelle qui repose sur le raisonnement et à laquelle sont liées les habiletés d'analyser, d'induire, de déduire et d'inférer;

---

34 Reproduit à partir de «Développement de la pensée et de l'action responsable dans une perspective d'acquisition de compétences au collégial» , dans *Actes du 10e colloque annuel de l'AQPC*, juin 1990, p. 5.

- la connaissance décisionnelle qui repose sur le jugement et la décision et à laquelle sont liées les capacités de construire, de décider, de résoudre et d'anticiper.

La mémoire à court terme est au centre de ce modèle fonctionnel des opérations mentales. Cette mémoire à court terme qui draine les quatre niveaux de connaissance débouche sur la métaconnaissance.

Du modèle de Palkiewicz, nous avons retenu l'idée des différents niveaux de connaissance, de leur enchaînement logique et de leur récursivité.

Modèle de Brien

Robert Brien, de l'université Laval, fonde son modèle de représentation des connaissances sur les schémas. Les schémas sont définis comme «des structures de connaissances génériques qui permettent à l'humain de se représenter la réalité et d'agir sur elle[35]». Ces schémas donnent naissance à divers types d'unités cognitives hiérarchiques réparties en deux entités. La première, de nature déclarative, réunit les concepts, les propositions et les épisodes; la seconde, de nature procédurale, groupe les règles de production, les procédures et les heuristiques. Les trois éléments de chacun de ces deux domaines sont placés en ordre croissant de complexité.

Brien définit les concepts comme «des unités cognitives utilisées pour se représenter des objets particuliers ou des actions, ou, encore, des classes d'objets ou d'actions[36]». Les propositions sont des unités cognitives d'un niveau plus élevé : elles englobent plusieurs concepts et elles contiennent la ou les relations qui réunissent ces concepts. Ces propositions, qui ne représentent qu'une partie de la réalité, sont elles-même groupées en épisodes. Les épisodes permettent de se représenter un ensemble d'événements interreliés.

Dans la seconde entité, les règles de production sont définies comme des unités cognitives utilisées pour la transformation d'objets ou d'événements. Ces règles de production prennent généralement la forme du «*si..., alors...*» et comportent des opérations à exécuter. Les procédures sont constituées d'ensembles de règles de production. Aussi qualifiées d'algorithmes, ces procédures permettent l'accomplissement de tâches plus complexes que celles mises en œuvre par les règles de production. Dernier niveau, les heuristiques correspondent aux règles et aux procédures qui ont servi à établir d'autres procédures ou, d'une façon plus générale, à résoudre des problèmes.

Tout comme dans le cas des schémas déclaratifs, Brien stipule que l'acquisition et l'encodage de nouveaux schémas procéduraux ne peuvent

---

35 BRIEN, R. *Science cognitive et formation*. 1990, p. 15.

36 BRIEN, R. *Science cognitive et formation*. 1990, p. 16.

s'effectuer que dans un ordre déterminé. Autrement dit, pour encoder de nouvelles règles de production, il faut «s'assurer que l'apprenant possède les concepts, les propositions et les opérations qui figurent dans la règle de production[37]». Il en est de même des heuristiques qui ne peuvent être acquises qu'à la suite de la manipulation répétée de nombreuses unités cognitives et des unités procédurales préalablement maîtrisées.

Modèle de Jones, Li et Merrill

Jones, Li et Merrill, de l'université de l'Utah, travaillent à élaborer un modèle qui permettrait de représenter les connaissances dans l'analyse pédagogique tout en examinant la structure et les interrelations au sein d'un domaine de connaissances à enseigner. En même temps, ce modèle pourrait aussi servir de point de départ à un éventuel développement informatique.

Le modèle de représentation des connaissances de Jones, Li et Merrill repose fondamentalement sur la notion de schèmes (*frames*) telle que définie par Minsky[38]. Le schème est une structure de données qui représente une situation stéréotypée. La structure des relations entre les éléments d'un schème donne une information qui est toujours vraie, alors que les cases (*slots*) contiennent des données particulières à une situation précise. Chaque schème est doté d'une structure interne et entretient des liens avec d'autres schèmes. Ces liens particuliers portent le nom de développements. Un ensemble de schèmes développés et reliés entre eux, et contenant toutes les connaissances nécessaires devant être enseignées en vue de permettre l'acquisition d'une performance humaine intégrée (une entreprise), constitue un réseau développé de schèmes.

Ces auteurs définissent trois types de schèmes et quatre catégories de développements (tableau 3). Les schèmes sont les entités, les activités et les processus. Les développements sont les attributs, les composants, les abstractions et les associations. Les entités correspondent à un objet, une personne, une créature, un endroit ou un symbole. Les activités sont des groupes d'actions interreliées devant être accomplies par le sujet apprenant. Quant aux processus, ce sont des groupes d'actions interreliées entièrement étrangères au sujet apprenant. Les attributs constituent la première catégorie de développement. Ils correspondent aux caractéristiques d'un schème. Seconde catégorie de développement, les composants représentent les constituants d'un schème. Il y a un type de composants pour chaque type de schèmes. Ainsi, les composants d'une entité sont les parties; les composants d'une activité sont les étapes et les composants d'un processus sont les événements et les causes. Troisième catégorie de développement, les

---

37 BRIEN, R. *Science cognitive et formation*. 1990, p. 23.

38 MINSKY, M. A. *A Framework for Representing Knowledge*. Cambridge, MIT Lab Memo 306, 1974. (Réédité dans J. HAUGLAND (éditeur), *Mind Design*. 1981).

abstractions correspondent à des hiérarchies de classes/sous-classes. Elles sont basées sur la relation «est une sorte de» par laquelle les schèmes peuvent être classés. Enfin, les associations constituent la quatrième catégorie de développement. Elles représentent les liens entre les schèmes d'un réseau. Les interrelations créées entre les schèmes permettent la circulation de données d'un schème à l'autre. Cette circulation s'effectue par voie d'héritage ou par voie de propagation. Par voie d'héritage, les attributs d'une classe ou d'une superclasse dans une hiérarchie d'abstraction sont affectés aux sous-classes ou aux instances. Par voie de propagation, le contenu d'un schème influence le contenu d'un autre schème auquel le premier est lié par un lien d'association.

Tableau 3

Schèmes et développements selon la représentation des connaissances de Jones, Li et Merrill.

	Développements			
Schèmes	Attributs	Composants	Abstractions	Associations
Entités	Caractéristiques	Parties	Classes/ sous-classes	Héritage et propagation
Activités	Caractéristiques	Étapes	Classes/ sous-classes	Héritage et propagation
Processus	Caractéristiques	Événements et causes	Classes/ sous-classes	Héritage et propagation

Les approches de ces trois cognitivistes sont intéressantes. De Palkiewicz, nous avons retenu le modèle des opérations mentales tout en en ayant changé les frontières et la nomenclature. En revanche, nous n'avons pas retenu le modèle de Brien, même si nous y avons trouvé confirmation de la hiérarchie des connaissances et des opérations mentales. Notre décision tient principalement au système de prescriptions rigoureuses et à l'action pédagogique linéaire du modèle proposé par ce pédagogue. Ne vont-elles pas à l'encontre de l'approche autopoïétique selon laquelle un processus d'apprentissage ou un système d'auto-évaluation devrait rester constamment ouvert sur les différents types de connaissances et d'habiletés évaluées afin de permettre une récursion plus efficace? Quant au modèle de Jones, Li et Merrill, il nous a paru d'une grande pertinence mais posait plusieurs problèmes. Le système d'analyse de ces chercheurs est extrêmement sophistiqué, en particulier par le traitement des attributs à l'aide de schèmes. Par ailleurs, la perspective de ces auteurs, bien que visant un développement informatique, n'embrasse pas la problématique de l'évaluation formative. Ces limites et ces contraintes nous ont donc conduits à proposer notre propre modèle de représentation des connaissances.

Notre modèle de représentation des connaissances

À partir de l'ensemble des considérations précédentes découlant de notre analyse de l'intelligence artificielle, des sciences cognitives en général, de l'approche autopoïétique et des designs pédagogiques cognitivistes, nous avons élaboré un modèle de représentation des connaissances convenant à notre projet. Ce modèle, basé sur une typologie des connaissances, fournira une hiérarchie des opérations mentales et un éventail d'outils de représentation, chacun étant affecté à un niveau particulier des connaissances.

Ce modèle permettra au professeur de construire un environnement d'analyse du contenu disciplinaire dans le cadre de sa planification et qui servira de base, par la suite, à une rétroaction retournant à l'élève une image de sa progression vers la maîtrise du domaine analysé.

La figure 6 présente les grandes lignes de notre modèle.

Nous avons retenu de Vogel la distinction entre les connaissances taxonomique, actinomique et procédurale, lesquelles correspondent respectivement aux connaissances intellectuelle et rationnelle de Palkiewicz. Les trois premières représentations des connaissances définies par Brien (concepts, propositions, épisodes) correspondent au domaine du déclaratif, alors que les deux suivantes (règles de production et procédures) renvoient au procédural. Quant à l'heuristique, telle que définie par Brien, elle fait plutôt référence à l'activité conduite par ce que Varela nomme l'observateur et que Palkiewicz associe à la métaconnaissance.

Figure 6
Modèle de représentation des connaissances.

Formes de représentation des connaissances

Les connaissances déclaratives et procédurales se reflètent dans quatre formes de représentation différentes que nous avons nommées respectivement énoncé, arbre, schème et carte. Plus précisément, les énoncés, qui se réfèrent à la perception du réel, contiennent des concepts et traitent de la reconnaissance et de l'identification des attributs de ces concepts; les arbres révèlent les rapports hiérarchiques qui s'établissent entre les concepts; les schèmes révèlent les transformations qu'assurent ou que subissent les concepts (objets); les cartes révèlent les rapports établis entre les concepts lors de la résolution d'un problème.

Pour mieux faire saisir les frontières entre ces niveaux, développons une analogie avec le travail de cartographie. L'énoncé serait l'équivalent de la photographie aérienne qui fournit la représentation la plus réaliste, la plus globale et la plus touffue mais aussi la plus complexe et la plus difficile à interpréter en raison de la diversité des informations qu'elle contient. L'arbre serait le résultat d'un premier dépouillement de ce qui est visible sur la photographie: on y classerait les structures selon qu'elles sont des cours d'eau, des terres cultivées, des forêts ou des constructions humaines. Le schème correspondrait à une première phase de traçage marquant les frontières entre les structures ainsi que leurs interpénétrations, les directions suivies par les cours d'eau, le relief. Enfin, la carte serait le résultat d'une commande: on n'y dessinerait que certaines structures en vue de fournir une réponse à une demande précise: carte hydrographique, carte routière, carte de l'utilisation des sols, par exemple. Des codes graphiques, comme les traits, les hachurés et les couleurs envahissent cette carte et représentent différentes informations: elle ne correspond plus à rien de «réel», mais elle traduit la mise en œuvre d'une procédure de recherche et d'interprétation issue des buts et du contexte de l'opération commandée[39].

À ces quatre niveaux s'ajoute celui de la métaconnaissance, qui ne fera pas partie du logiciel à proprement parler mais que nous incluons dans le

---

39 On constatera avec étonnement la correspondance avec la définition suivante de la carte, provenant d'un tout autre contexte:

«Toute carte est à la fois une représentation et un discours, elle est plus proche d'un tableau que d'une photographie. Cette affirmation peut surprendre, il est pourtant facile de la justifier. Lorsque les phénomènes représentés ne relèvent pas seulement de la géographie physique mais sont aussi relatifs à l'économie, à la politique, à la stratégie, etc., l'auteur de la carte ne retient que certains aspects de la réalité et détermine leur mode de représentation. Malgré ses efforts d'objectivité, c'est l'auteur qui s'exprime à travers elle. De plus, les contraintes techniques de la cartographie (représenter dans le plan des surfaces approximativement sphériques) introduisent nécessairement des déformations qui peuvent être utilisées pour donner des images porteuses de significations différentes» (TOUSCOZ, J. *Atlas géostratégique*. 1989, p. 24).

système en raison de sa correspondance avec l'auto-évaluation. En effet, l'auto-évaluation doit être considérée comme un instrument de la métaconnaissance puisqu'elle conduit un individu à prendre en charge et à gérer ses activités intellectuelles, «cette prise en charge et cette gestion se réalisant à partir de la conscientisation de son savoir et de son mode de fonctionnement[40]».

Il importe par-dessus tout de souligner le caractère récursif de notre modèle. Certes, on peut y voir une organisation hiérarchique des niveaux (de l'empirique à la métaconnaissance), mais cela ne doit pas conduire à des prescriptions pédagogiques imposant un parcours linéaire, tant dans l'analyse de la matière que dans l'auto-évaluation. Cet avertissement, nous le reprenons de Palkiewicz et surtout de toute l'approche autopoïétique. Selon celle-ci, l'activité conduite par l'observateur est récursive et peut s'assimiler au processus d'auto-évaluation:

> «[Au niveau de la pensée], on fait intervenir le concept d'observateur qui fait une continuelle description de la séquence des états d'activités neuronales. Cet observateur est l'équivalent du Soi, ou de la conscience. L'observateur a la capacité de projeter la description sur elle-même récursivement. Il est alors capable d'autonomie, en édifiant sa propre conduite. L'autopoïèse est donc le fait de cet observateur qui réintroduit dans l'ensemble des états neuronaux de nouveaux états générés intérieurement par la description des états antérieurs. Il y a ainsi récursion des états sur eux-mêmes par l'entremise de l'observateur[41].»

Cela signifie donc qu'une utilisation linéaire de ce modèle qui ne ferait pas de place à la récursivité désengagerait l'observateur du processus auto-évaluatif. Nous serions alors devant un instrument d'apprentissage, peut-être, mais certes pas devant un outil de formation.

Les quatre formes de représentation des connaissances de notre modèle sont constamment évaluées, conditionnées et modifiées par la métaconnaissance. C'est par elle que se réalise la récursivité des opérations cognitives qui donne à l'ensemble toutes les caractéristiques d'un système. La métaconnaissance génère des buts, établit le contexte de toutes les autres opérations cognitives et, partant, elle en conditionne l'usage. Elle en assure également l'évaluation par confrontation des résultats obtenus avec les buts fixés. Par son activité métacognitive, l'observateur pourra finalement modifier l'une ou l'autre des connaissances qu'il manipule, y compris le contexte et les buts qu'il se donne.

---

40 LEFEBVRE-PINARD, M. «Existe-t-il des changements cognitifs chez l'adulte?» dans *Revue québécoise de Psychologie*, vol. 1, n°2, p. 58-69.

41 ÉTHIER, A. «Un nouveau principe systémique en éducation», dans *Technologie et communication éducatives*. 1988, p. 43.

Nous allons maintenant commencer à présenter notre modèle par la typologie des connaissances qui s'y trouve.

Les connaissances déclaratives

Nous retenons la distinction générale entre les connaissances déclaratives, procédurales et la métaconnaissance telle que proposée par l'intelligence artificielle.

Parmi les connaissances déclaratives, nous distinguons trois niveaux. Ils sont qualifiés respectivement d'empirique, de hiérarchique et d'actantiel.

Empirique

Le niveau empirique se rapporte à un traitement des connaissances déclaratives telles qu'elles semblent se référer aux aspects strictement perceptuels de la réalité. L'objet est abordé sous l'angle de ses manifestations. Le traitement empirique explicite les propriétés et les attributs de l'objet qui permettent de le reconnaître, de le nommer et de le qualifier.

Nous désignons comme un *concept* l'unité du savoir empirique. Il est possible d'y voir une définition restrictive du terme *concept* dont Desrosiers-Sabbath nous fait voir la polysémie:

> «Le terme concept, au sens large, se réfère à l'imagination et se définit comme la représentation mentale d'une chose: avoir une idée de quelque chose, l'imaginer... Bruner (1965) identifie trois phases dans le développement mental et les fait correspondre à trois modes de représentation de la réalité: le mode énactif, iconique et symbolique. Le mode iconique est le mode de l'«image interne» ou de l'imagerie mentale alors que des images sommaires représentent le monde et tiennent lieu de concepts; ce mode de représentation dépend donc de la perception et de l'organisation perceptuelle. Ces données apparentées au sens large du mot concept sont capitales au plan pédagogique; elles font voir le rôle de l'image dans la structuration de la pensée chez les jeunes élèves qui ne sont pas parvenus au stade des opérations formelles, selon l'appellation de Piaget, ou au mode «symbolique» de représentation de la réalité, selon Bruner.
>
> Quant au mode de pensée dit symbolique, qui est le principal outil de la pensée réflexive, il peut se passer ou pas de l'expérience concrète. C'est ce mode de pensée qui a donné lieu à la définition restreinte du mot concept, d'après Le Robert: «Une idée générale et abstraite construite par l'esprit soit à partir de l'expérience, soit à partir d'un contenu mental inné»; ou encore, selon Tremblay (1968; p.72) «Une idée plus ou moins abstraite, un symbole qui désigne ou représente une réalité plus ou moins vaste.» Cette dernière définition met en évidence le niveau d'abstraction et l'étendue de la représentation qui sont des caractéristiques propres à chaque concept... De plus, quel que soit son niveau d'abstraction, pour qu'un concept possède une utilité scientifique, il doit être défini de façon à rendre possible l'observation de

> certains aspects de la réalité (Tremblay, 1968, p. 72). Cette proposition est corroborée par Lavelle (1971), lorsqu'il dit que «toute la vie de l'esprit (...) consiste dans un double mouvement qui va du concept au réel et du réel au concept...[42].»

Utiliser le terme *concept* pour désigner l'unité de savoir empirique laisse entendre qu'il réfère exclusivement au monde réel transmis par les sens. Nous l'entendons dans ce sens à la condition d'inclure dans la description du monde réel les données issues des représentations internes. Nous avons trouvé dans la description suivante une bonne explication des opérations empiriques sur le concept:

> «La genèse des concepts peut également être vue comme une construction mentale spontanée. Ici la démarche comprend tout d'abord la réduction, opération qui consiste à sélectionner dans la masse des données sensibles celles qui ont des traits communs suffisamment intéressants, puis à les rassembler dans une entité abstraite qui est le concept. Les traits communs font office d'interaction mutuelle attractive et l'on peut conjecturer qu'au cours du rassemblement les éléments mentaux effectuent le même chemin que les objets physiques qui s'ordonnent dans une structure. Cette conjecture est corroborée par la théorie psychologique du constructivisme. Celle-ci affirme en effet que le sujet apprend par l'action: il lui faut manipuler patiemment les objets concrets jusqu'à ce qu'une coordination générale s'impose; il fait alors l'expérience de cet éclair de compréhension, l'*insight*, moment où les représentations dûment affinées par l'exercice de manipulation tombent d'elles-mêmes dans le nouvel ordre. Comme dans la perception, l'acquisition de cet ordre ne demande pas d'effort conscient; c'est un phénomène spontané qui reproduit la plupart du temps l'ordre concret[43].»

Comme on peut le constater, les opérations de réduction et de rassemblement préparent le traitement hiérarchique subséquent.

Hiérarchique

Le niveau hiérarchique renvoie à un traitement classificatoire du savoir. Les connaissances hiérarchiques relèvent des attributs discriminants et des états qui caractérisent les objets. Elles forment des taxonomies, composées de *taxèmes*, ou des séquences, composées de *phases*.

Vogel présente la taxonomie dans les termes suivants:

> «La structure d'une taxinomie est verticale, c'est avant tout une hiérarchie qui se développe en suivant la hiérarchie réelle des discontinuités de l'environnement...

---

42 DESROSIERS-SABBATH, R. *Comment enseigner les concepts, vers un système de modèles d'enseignement*. 1984, p. 19-20.

43 FIVAZ, R. *L'ordre et la volupté*. 1989, p. 83.

> Les taxinomies grandissent en absorbant les nouveaux venus, elles se structurent en composant les pièces plus ou moins pré-définies du puzzle; les discontinuités du monde réel leur étant pour une part imposées, elles "bricolent" ces éléments "pré-contraints" (LÉVI-STRAUSS, Claude, *La pensée sauvage*. Plon, 1962) et tentent de retrouver la cohérence d'un agencement global plus générique...
>
> Les taxinomies servent à la reconnaissance en procédant par synecdoque: en cheminant de l'espèce à la classe ou du tout à sa partie [44].»

Nous retenons cette distinction entre la relation qui va de l'espèce à la classe, identifiée comme une relation de généralisation, d'une part, et la relation qui descend du tout vers ses parties, appelée relation de composition, d'autre part.

Nous avons également décidé d'inclure dans le savoir hiérarchique celui qui traite d'une séquence fixe en mettant une phase préalable à un niveau hiérarchique plus élevé que celle qui la suit. Cela s'applique même pour le traitement d'une procédure quand la suite de ses phases est apprise. Brien intègre cette stratégie intellectuelle à la *reproduction*:

> «Si nous considérons l'accomplissement d'une tâche donnée comme supposant d'abord la recherche d'un ordre d'exécution d'un ensemble de procédures et de sous-procédures, il nous faut convenir... de l'existence de modalités de planification différentes, selon que le solutionneur connaît déjà la séquence des sous-procédures à exécuter ou qu'il doive lui-même la rechercher. Nous dirons que, dans le premier cas, le solutionneur possède une compétence de type reproduction parce qu'il utilise alors, dans l'accomplissement d'une tâche, une séquence connue de sous-procédures [45].»

Ce qui convient ici à une séquence au sein d'une tâche s'applique *a fortiori* dans le cas de la description d'une chronologie.

Actantiel

Nous gardons également de Vogel l'idée de traiter du savoir actantiel, c'est-à-dire du savoir qui porte sur des transformations, car il nous paraît utile en auto-évaluation de vérifier la compréhension des différentes transformations, des changements d'état que subissent les objets.

Deux couches distinctes forment l'assise de ce savoir. La première est celles des actinomies qui décrivent une enfilade d'événements, définis comme *actèmes*. Elle insiste sur la nature des rapports que ces événements

---

44 VOGEL, C. *Génie cognitif*. 1988, p. 38-40.

45 BRIEN, R *Science cognitive et formation*. 1990, p. 46.

entretiennent. La seconde est celle des composants des actèmes. En effet, chaque actème peut être décomposé à son tour en ses éléments constitutifs:

> «Les éléments composants l'actème sont lexicaux et structuraux. Le cœur de l'actème est constitué par la paire de sèmes contrastés réalisant le changement d'état causé sur un destinataire par un destinateur, usant éventuellement d'un instrument. Les éléments lexicaux qui permettent de manipuler cette transformation sont a priori relativement libres[48].»

Nous avons réduit cette liberté en proposant sept unités lexicales pour décrire une transformation. Ce sont:

- l'agent, qui est responsable de la transformation;
- la transformation elle-même, exprimée le plus souvent sous forme verbale et jouant le rôle de titre de l'actème;
- l'état initial, qui se réfère à l'objet avant la transformation;
- l'état final, qui renvoie à l'objet après la transformation;
- l'instrument, élément facultatif que peut utiliser l'agent;
- les circonstances, élément facultatif précisant les conditions, le contexte de la transformation;
- le but, élément facultatif réservé au cas des agents autodéterminés.

Notre modèle réserve le mode actantiel à l'analyse de chacun des actèmes, leur mise en cascade étant illustrée soit dans un arbre séquentiel, si l'agencement est connu et doit être appris comme tel, soit dans une carte résolutoire, si l'enchaînement des événements doit être composé.

Les connaissances procédurales

Les connaissances procédurales sont mises en œuvre au moment de la résolution d'un problème lorsqu'une solution toute faite n'existe pas. Cela nous conduit à affirmer que les connaissances procédurales s'élaborent essentiellement au cours d'un processus résolutoire.

Résolutoire

En mode résolutoire, l'esprit ne recourt à rien qu'il ne savait déjà. La connaissance résolutoire renvoie uniquement à ce qui est déjà disponible sous forme empirique, hiérarchique ou actantielle.

La stratégie résolutoire remplit deux fonctions. Dans un premier temps, elle sélectionne parmi les connaissances déclaratives celles qui interviendront dans la résolution du problème et qui seront représentées par des *nœuds*. Dans un deuxième temps, dans une carte, cette stratégie agence ces connaissances déclaratives par des liens dans un ordre tel qu'elles conduisent à la solution du problème. Tel un mouvement perpétuel, qu'illustrent

---

46 VOGEL, C. *Génie cognitif* 1988, p. 71.

certaines œuvres d'Escher, le niveau résolutoire débouche toujours sur les autres niveaux et permet d'y retourner constamment.

La sélection et la combinatoire des connaissances déclaratives constituent deux opérations essentiellement novatrices, en ce sens qu'elles ne constituent pas une application d'une règle ou d'une procédure déjà apprise. Le savoir résolutoire est donc tout près de ce que Brien nomme la production, en contraste avec la reproduction:

> «...le solutionneur possède une compétence du type production parce qu'il doit découvrir l'ordre dans lequel des sous-procédures doivent être exécutées pour accomplir la tâche. La recherche d'un ordre d'exécution suppose alors... la maîtrise de procédures d'un autre type, des heuristiques que l'on peut considérer comme des règles de production d'un ordre supérieur[47].»

C'est l'objectif poursuivi (la solution à un problème précis) qui dicte donc le contenu du savoir résolutoire. Le résultat se compare à une coupe effectuée à travers les connaissances déclaratives dont la pente et l'orientation seraient guidées par le but recherché. Or le but recherché dépend fortement du contexte, et le chercheur fait lui-même partie de ce contexte. Bien plus, l'évaluation que le chercheur fait de son cheminement vers le but conditionne ses activités d'investigation. On voit ici combien ce niveau représente une matérialisation directe des opérations métacognitives. Un plan résolutoire est donc changeant et toujours unique. Dès l'instant où il se cristallise dans une forme prescriptive, il coule du niveau résolutoire au niveau déclaratif, il passe de la production à la reproduction.

Ce repli sur les autres niveaux qui caractérise la topologie du niveau résolutoire tient à la fois du paradoxe et du principe de récursivité autopoïétique. Rien ne l'illustre mieux que l'œuvre d'Escher intitulée *Exposition d'estampes* (figure 7).

---

47 BRIEN, R. *Science cognitive et formation*. 1990, p. 46.

Figure 7

Illustration du paradoxe du savoir résolutoire et de la récursivité autopoiétique. Comme le tableau que regarde le visiteur de cette exposition, le savoir résolutoire se replie sur tous les autres savoirs et les contient. Quelle fascination, sans doute, pour cet observateur de découvrir qu'il est peint à une fenêtre, en train de se regarder. Et juste au moment où nous commençons à réaliser cela, il apparaît que nous sommes nous-mêmes à regarder ce tableau. Il n'y a pas de meilleure image pour illustrer le lien qu'il y a entre métaconnaissance, auto-évaluation et savoir résolutoire.

La métaconnaissance

La métaconnaissance peut se définir comme la «prise en charge par un individu de son propre fonctionnement cognitif[48]». Elle implique par conséquent évaluation et correction. Voyant la métacognition comme le prolongement, à l'âge adulte, des stades piagétiens du développement de la pensée, Adrien Pinard poursuit à son sujet:

> «... la pensée adulte pourrait être fondée sur la capacité progressive de se livrer à un contrôle conscient et délibéré de ses démarches cognitives. On sait que le dernier palier de développement décrit par Piaget est caractérisé par la capacité,

48 PINARD, A. «Cognition et métacognition: les recherches sur le développement de l'intelligence» , dans *Interface*, novembre-décembre 1987, p. 21.

> chez un individu, d'une part de prendre conscience des raisons qui expliquent l'efficacité des règles cognitives nouvellement acquises, et, d'autre part, de réfléchir sur les structures cognitives sous-jacentes à ces règles. Or je crois depuis longtemps que ce palier n'est pas le terme du développement, mais seulement la condition nécessaire (sinon suffisante) et le point de départ d'une acquisition nouvelle - le contrôle conscient de son fonctionnement cognitif - appelée dès lors à se consolider, à se différencier et à se généraliser[49].»

Procéder à l'évaluation de la métaconnaissance représente une tâche difficile et sans doute vaine. L'apprenant est le seul capable de dire ce que l'apprentissage a développé de nouveau chez lui. Il peut tenter de verbaliser les opérations cognitives qui sont en train de s'implanter chez lui, mais cela n'est pas évaluable extrinsèquement. Le maître se contentera de vérifier si l'effort pour développer une métaconnaissance a été fait.

Notre modèle ne cherche donc pas à offrir une représentation de la métaconnaissance. Tout au plus vise-t-il à la mettre en action selon les termes souhaités par Desrosiers-Sabbath:

> «Les activités de métacognition, que nous avons associées au développement des habiletés à conceptualiser, et qui sont le moyen d'atteindre un des objectifs éducatifs majeurs du modèle, sont beaucoup plus faciles à conduire, suite à l'enregistrement en mémoire d'ordinateur des essais et erreurs de l'apprenant... l'analyse des stratégies de découverte du concept pose comme première exigence l'extériorisation du processus. Le rapport verbal, qui est la voie retenue par la plupart des recherches en métacognition, comporte des limites: la fidélité et l'exhaustivité des rapports obtenus.
>
> L'ordinateur apparaît comme un substitut pouvant parer aux carences du rapport verbal dans les activités métacognitives. En effet, la restitution intacte des données enregistrées en mémoire d'ordinateur fournit un canevas sur lequel il est possible de travailler, par des analyses de contenus ou autres, en vue d'une prise de conscience, par l'apprenant, de la façon dont il a conceptualisé et une occasion, pour l'enseignant, d'apporter une rétroaction en vue de décupler les habiletés impliquées au cours du processus[50].»

En maintenant disponible, pour le professeur et pour l'élève, tout ce que ce dernier ou cette dernière a produit, *Copilote* stimule la métacognition sous l'une ou l'autre de ses deux formes que Joseph Novak distingue:

---

49 PINARD, A. «Cognition et métacognition: les recherches sur le développement de l'intelligence», dans *Interface*, novembre-décembre 1987, p. 18-19.

50 DESROSIERS-SABBATH, R. *Comment enseigner les concepts, vers un système de modèles d'enseignement*, 1984, p. 96.

> «Les stratégies métacognitives comprennent le méta-apprentissage, ou apprendre à apprendre de façon significative, et la métaconnaissance, ou apprendre à propos de la nature de la connaissance.
>
> ... Les stratégies de méta-apprentissage aident l'apprenant à comprendre le sens dérivé des concepts et les relations existantes entre les concepts ainsi que les nouvelles relations que nous intégrons dans nos schèmes sémantiques existants...
>
> Les stratégies de métaconnaissance aident les étudiants à comprendre que les concepts sont construits à partir de régularités perçues dans les objets ou les événements et qu'on utilise un langage ou des symboles pour désigner ces régularités[51].»

Niveaux de connaissance et hiérarchie des opérations cognitives

En nous en tenant de très près aux propositions de Jan Palkiewicz, nous proposons d'identifier un certain nombre d'opérations cognitives mises à l'œuvre dans chacun des niveaux distingués (tableau 4). Ces niveaux et ces opérations sont présentées dans un ordre croissant de complexité.

Tableau 4

Opérations cognitives selon les niveaux de connaissance.

Niveaux de connaissance	Opérations cognitives
Empirique	Nommer Définir Reconnaître Identifier Mémoriser
Hiérarchique	Classer Ordonner Décomposer Généraliser Spécifier
Actantiel	Analyser Décrire
Résolutoire	Inférer Déduire Induire Relier
Métacognitif	Décider Choisir S'évaluer Créer S'engager

51 NOVAK, J. D. «Metacognitive Strategies to Help Students Learning how to Learn», dans *Research matters...To the Science Teacher*. National Association for Research in Science Teaching, 3 p. Notre traduction.

La récursivité

Ainsi notre modèle hiérarchise quatre types de connaissances évalués et construits par un cinquième, celui de la métaconnaissance. À chacun des niveaux correspondent des unités et des relations particulières. Il faut maintenant éclaircir un point important: au sein d'un domaine de connaissances, une unité peut être traitée simultanément à plus d'un niveau. Nous dirions, à la limite, que dans un domaine particulier, toutes les unités peuvent être abordées simultanément à tous les niveaux. Un objet de connaissance, à l'intérieur d'un domaine circonscrit et organisé, n'occupe pas une place prédéterminée parmi les niveaux de savoir et il se peut même qu'il se trouve partout à la fois. Ce fait troublant donne l'impression de paradoxe, semblable à des miroirs qui se font face et qui se renvoient cette phrase de Sol: «l'univers est dans la pomme.» La personne qui s'apprête à analyser un domaine peut toujours se demander: «Cette unité de connaissance est-elle empirique, actantielle, hiérarchique»?, et s'inquiéter du fait qu'elle peut être les trois à la fois.

Le paradoxe se résout quand on réalise que ces niveaux ne mettent pas en jeu des unités de connaissance différentes. En fait, ce sont les mêmes unités, mais traitées et observées sous des angles différents, comme lorsque nous regardons un hologramme. Cette référence n'est pas anodine. Dès lors que nous traitons des connaissances ou de l'apprentissage comme d'un système complexe, l'allusion à l'hologramme s'impose pour faire image du mouvement unissant le tout et les parties.

> «Dans un hologramme physique, le moindre point de l'image de l'hologramme contient la quasi-totalité de l'information de l'objet représenté. Non seulement la partie est dans le tout, mais le tout est dans la partie... Cette idée apparemment paradoxale immobilise l'esprit linéaire. Mais, dans la logique récursive, on sait très bien que ce qu'on acquiert comme connaissances des parties revient sur le tout. Ce qu'on apprend sur les qualités émergentes du tout, tout qui n'existe pas sans organisation, revient sur les parties. Alors on peut enrichir la connaissance des parties par le tout et du tout par les parties, dans un même mouvement producteur de connaissances[52].»

Comme nous le rappellerons dans la partie portant sur la méthode d'analyse de la matière, il importe de concevoir que l'analyse d'un domaine constitue non une identification de la nature des savoirs mais un choix dans les traitements possibles qu'on peut leur appliquer.

---

52 MORIN, E. *Introduction à la pensée complexe*. 1990, p. 100-101.

La figure 8, qui représente une autre gravure d'Escher, permet d'illustrer cette affirmation selon laquelle il est possible d'observer le même univers simultanément sous plusieurs perspectives. Escher décrit ainsi «*Un autre monde II*»:

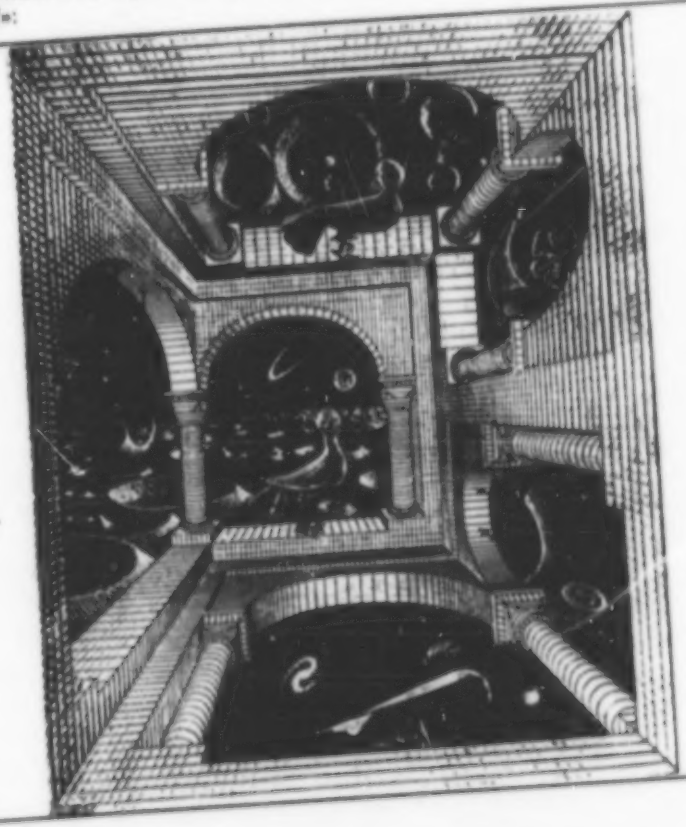

Figure 8

Paradoxe des perspectives multiples.
La gravure *Un autre monde II* de Escher illustre qu'il est possible d'observer simultanément le même univers sous plusieurs angles.

«C'est l'intérieur d'une construction en forme de cube. Les fenêtres sur les cinq murs visibles débouchent sur cinq paysages différents. Par les deux fenêtres supérieures, on regarde vers le bas, presque verticalement; les deux du milieu sont au niveau de l'œil de l'observateur et montrent l'horizon tandis que les deux d'en bas regardent droit sur les étoiles. Chaque plan du bâtiment qui réunit nadir, horizon et zénith a une fonction triple. Par exemple, le plan

> du fond au centre du bassin est un mur par rapport à l'horizon, un plancher par rapport à l'ouverture du haut et un plafond si on considère la fenêtre qui donne sur le ciel étoilé[53].»

Ainsi, tous les niveaux de notre modèle se réfèrent aux mêmes unités de connaissance mais en les traitant sous un angle particulier. Il les considère tour à tour sous forme de concept, de taxèmes, d'actèmes ou de propositions interreliées, chacun de ces niveaux de traitement permettant de vérifier successivement la maîtrise d'habiletés cognitives de plus en plus complexes sous-tendant l'appréhension d'un domaine de connaissances.

Mise en œuvre du modèle: développement, accord, maîtrise et disponibilité des unités

Il va de soi qu'un concepteur ou une conceptrice ne crée pas un domaine en y faisant entrer l'ensemble des unités et des relations dans et à travers chaque niveau. Forcément, un choix s'effectue. Ce choix est orienté en fonction d'un but, d'une perspective et de l'évaluation du contexte. Il dépend de la matière à traiter, de la clientèle concernée, des objectifs, des conditions de formation, etc. En d'autres termes, cela revient à dire que la construction d'un domaine constitue en soi une activité guidée par la métaconnaissance et qu'elle correspond à la représentation d'une carte résolutoire.

La méthode de développement d'un domaine est traitée dans la section «Méthode d'analyse de la matière». Pour l'instant, il nous faut encore préciser quelques éléments préalables relatifs aux questions du développement, de l'accord, de la disponibilité et de la maîtrise des unités de connaissance.

Le développement

On désigne du terme de *développement* l'opération qui consiste à représenter simultanément une unité à plus d'un niveau. Au niveau où l'unité est analysée, on dira qu'elle est *développée*, alors que là où elle est représentée de manière synthétique elle sera dite *condensée* (figure 9). Le niveau de développement est hiérarchiquement inférieur et peut être considéré comme préalable à celui où l'unité est condensée. Le traitement résolutoire se trouvant au sommet des opérations dans notre hiérarchie, cela signifie que certains nœuds d'une carte peuvent être développés au niveau actantiel, au niveau hiérarchique ou encore au niveau empirique. À l'opposé, au niveau empirique, toutes les unités (les questions) devraient faire référence à des éléments déjà acquis.

---

53 TASCHEN, B. M.C. *Escher, l'œuvre graphique, introduction et commentaires du graveur*. 1990, p. 14.

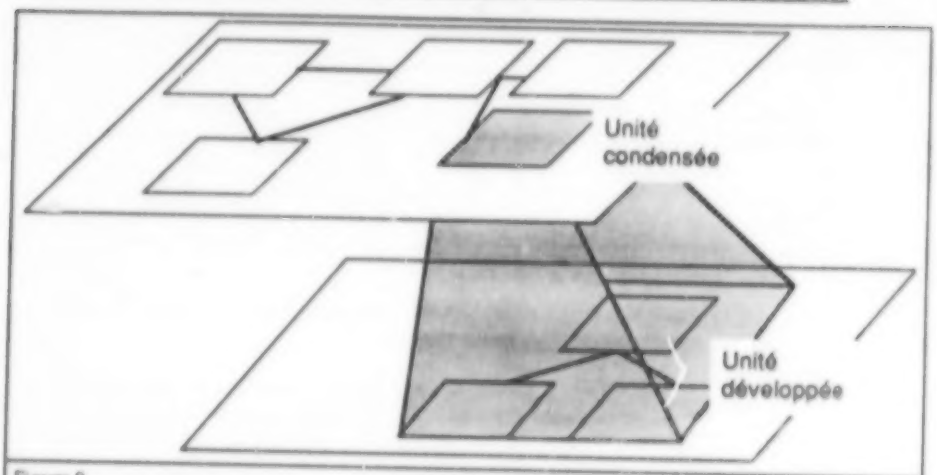

Figure 9

Condensation et développement des unités de connaissances.
À l'intérieur d'un domaine particulier, le concepteur ou la conceptrice décide de développer une unité de savoir en l'analysant à un niveau sous-jacent.

Dans un design pédagogique liant la planification de la matière à enseigner à l'auto-évaluation formative, on choisira de développer seulement les unités qui nécessitent un enseignement préalable. Du point de vue de l'analyse de la matière enseignée, le développement d'une unité devra donc précéder l'utilisation de la même unité condensée dans une opération cognitive de niveau hiérarchique supérieure. Du point de vue de l'évaluation, le développement d'une unité devra avoir été maîtrisé avant que sa forme condensée puisse être utilisée dans la résolution d'une tâche d'un niveau hiérarchique supérieur.

Prenons l'exemple d'un professeur s'apprêtant à enseigner les méthodes de datation relative en archéologie. En effectuant sa planification de contenu, il établit que l'unité *stratigraphie* n'est probablement pas acquise et devrait faire l'objet d'un enseignement préalable. Il décide de développer cette unité sous une forme actantielle. Ce faisant, il recourt à l'unité *strate* qu'il juge non acquise à son tour. Il poursuit donc en développant cette notion par un traitement empirique. Ce travail d'analyse a son pendant dans l'auto-évaluation formative. En effet, il en découle que l'étudiant ou l'étudiante devra d'abord faire preuve de la maîtrise empirique de la notion de *strate* avant qu'elle ne devienne disponible pour remplir l'actème *stratigraphie* . Ensuite, il ou elle devra avoir complété cet actème avant de pouvoir l'utiliser dans une carte résolutoire portant sur les méthodes de datation relative en archéologie.

L'accord et la disponibilité

L'analyse d'un domaine produit donc une série d'unités dont seulement certaines sont développées en fonction des préalables reconnus, qu'ils soient acquis ou non. Les unités qui ne nécessitent pas de développement sont réputées *accordées*. La personne qui visite le domaine dans le but de s'auto-évaluer dispose donc dès le départ de toutes les unités accordées et ce, sans égard à leur niveau. Les unités accordées constituent donc le lot initial des unités *disponibles* pour les opérations d'auto-évaluation.

La maîtrise

En cours d'auto-évaluation, chaque fois que l'élève *maîtrise* le développement d'une unité, il ou elle l'ajoute à la série des unités *disponibles* pour la solution des tâches de niveau supérieur. La maîtrise de l'unité développée est donc préalable à l'utilisation de l'unité condensée.

En résumé, le travail de conception d'un domaine génère une liste contenant d'une part des unités accordées et d'autre part des unités développées à des niveaux sous-jacents. Pour la personne en auto-évaluation, la liste d'unités disponibles contient au départ toutes celles qui ont été accordées. Puis, s'y ajoutent les unités que la personne a maîtrisées en réussissant les tâches liées à leur développement.

Notre outil de représentation

Pour chacun des quatre premiers types de connaissances, nous avons choisi un outil de représentation parmi tous ceux qui sont offerts en intelligence artificielle et dont nous avons déjà parlé. La perspective de créer un instrument informatisé d'auto-évaluation formative a évidemment guidé notre choix.

Empirique: question objective

Mode d'interrogation le plus connu, la question objective permet d'interroger le savoir empirique. Sa principale forme d'expression est l'énoncé écrit. Cette forme de présentation ne devrait pas empêcher de considérer la question objective comme un schème à cause de sa disposition graphique. En effet, les cases qui la constituent sont toujours présentes. Ce sont: la zone de référence, la zone d'énoncé de la question, la zone d'inscription de la réponse et celle de la rétroaction.

La zone de référence représente en quelque sorte une fenêtre ouverte sur le monde «réel» auquel fait référence l'énoncé de la question. On y trouve, sous forme textuelle ou graphique, la description de la situation à laquelle se rapporte la question.

La question se lit sous une forme textuelle, brève et précise par sa référence à la situation contextuelle.

La réponse, également brève et précise, s'écrit dans un espace ménagé pour la recevoir car la personne qui s'auto-évalue n'a pas à reconnaître la bonne réponse. Elle doit la produire.

Nécessaire dans le contexte d'un système informatisé d'auto-évaluation formative, la zone de rétroaction permet de retourner une réaction écrite pertinente face à la réponse.

Hiérarchique: arbre

Le savoir hiérarchique se représente sous la forme d'arbre ou de séquence. Un arbre est composé d'unités - ou nœuds - nommés taxèmes. De ces nœuds partent des ramifications qui montrent la filiation taxonomique. Ces ramifications sont des liens qui traduisent une relation entre les unités. Une séquence est composée de phases. Elle sert à représenter une suite ordonnée d'opérations ou d'activités chronologiques. Ces séquences peuvent être ramifiées ou non. Quand elles ne le sont pas, elles ressemblent alors à des bambous plutôt qu'à des arborisations. Là encore, les phases sont mises en relations par des liens.

Dans un cas comme dans l'autre, le lien traduit une relation dont la direction est indiquée par une flèche et la nature rendue par un verbe. Toute la question du choix du verbe destiné à traduire la nature de la relation est discutée dans la section « Typologie des relations.»

Actantiel: schème

Un actème sert à représenter une transformation. On peut le représenter par un schème dont chacune des cases correspond à une fonction grammaticale particulière de telle sorte qu'il serait possible de traduire la transformation en une proposition complexe. Chacune de ces cases désigne une unité sémantique appelée *sème*.

Les cases ou *sèmes* sont: l'agent, la transformation, l'état initial, l'état final, l'instrument, les circonstances et le but. Les quatre premières constituent le centre vital de l'actème, c'est-à-dire qu'aucune description de transformation ne saurait être complète sans elles.

L'agent désigne le responsable de la transformation. Selon son degré de responsabilité, il sera sujet ou adjuvant. Dans le premier cas, il est auteur de la transformation alors que dans le second il contribue à l'effectuer.

La transformation s'exprime dans une forme verbale qui peut être soit générique («modifie», «change») ou spécifique («phagocyte», «liquéfie»).

L'état initial désigne l'objet de la transformation avant qu'elle ne l'affecte.

L'état final se réfère au même objet mais après qu'il ait subi la transformation.

L'instrument indique ce qui a pu être utilisé à titre d'outil par l'agent pour effectuer la transformation.

Les circonstances peuvent préciser le contexte de réalisation de la transformation lorsqu'il a une valeur de condition.

Seul un agent autodéterminé peut poursuivre un but. En pratique, on réserve cette case au seul cas où l'agent est un humain.

Nous proposons la représentation graphique suivante pour disposer les cases du schème actantiel (figure 10).

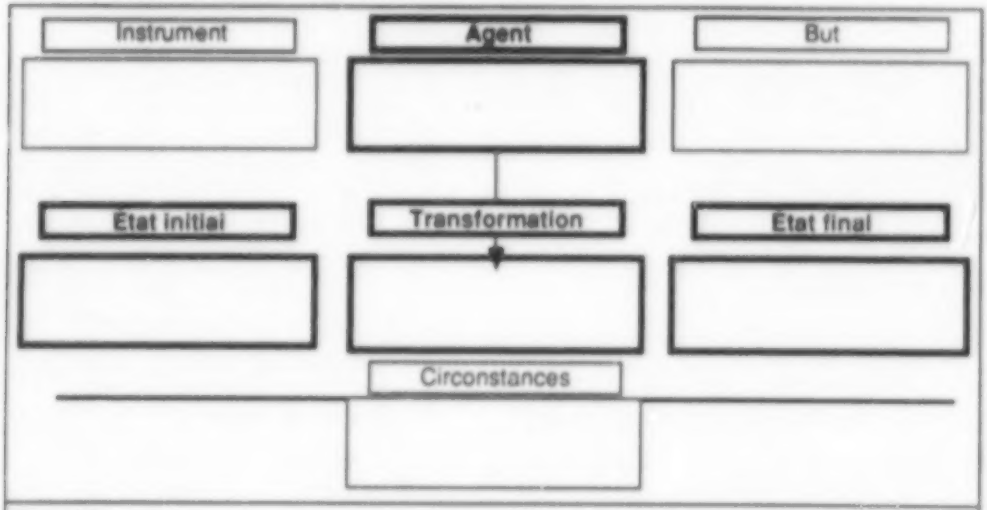

Figure 10

Schème actantiel.
Notez que les cases en gras constituent le centre vital dur de l'actème.

Résolutoire: carte

La connaissance résolutoire tient dans un réseau que nous avons appelé carte. Il s'agit d'une représentation graphique très proche du réseau de concepts mis au point par Novak et Gowin. Il présente les caractéristiques essentielles

d'un réseau sémantique, tel que défini par Lindsay et Norman[54]. Une carte contient des unités, appelées des nœuds, et des liens. À l'instar de l'arbre[55], la carte traduit la nature d'un lien par un verbe. La section sur la «Typologie des relations» traite en détail de la catégorisation des relations et du choix des verbes.

Particularité additionnelle des cartes qui les distingue des réseaux de concepts, les liens portent une flèche qui en indique la direction. De plus, l'esthétique veut qu'une carte soit aussi concise que possible. On n'y mettra en place que les nœuds et les liens utiles à la résolution du problème. Toute information servant à maîtriser une unité, mais non à résoudre le problème, sera *développée* dans une autre forme de représentation (actème, taxème, phase ou concept). La condensation des unités actantielles entraîne la substantification des transformations; le «transformer» devient «la transformation». Autrement dit, le verbe décrivant une relation au niveau actantiel devient au niveau résolutoire un substantif intégré dans le nœud. La condensation des unités hiérarchiques est rendue possible par l'usage de la phase ou du taxème utile le plus élevé dans la hiérarchie.

Typologie des relations

Problématique

L'originalité de notre modèle tient à trois éléments: son fonctionnement par niveaux de connaissance (niveaux empirique, hiérarchique, actantiel et résolutoire), son traitement graphique de la représentation des connaissances et, surtout, l'évaluation et la rétroaction qu'il fournit à son utilisateur.

En soi, la réalisation et l'évaluation des questions objectives et des schèmes actantiels ne représentaient pas une grande difficulté. Dans ces deux cas, il s'agit d'une simple vérification terme à terme. Si la réponse de l'élève à une question objective ou le contenu d'une case d'un schème actantiel coïncide avec le contenu du professeur, alors il y a bonne réponse. En revanche, l'évaluation des réseaux constituait un double défi. En effet, il fallait identifier l'unité d'analyse d'un réseau et déterminer les critères de maîtrise de ces unités.

Dans un réseau, les nœuds, les phases ou les taxèmes disponibles n'ont pas à être évalués une seconde fois puisqu'ils l'ont été aux niveaux précédents ou ont été accordés. Par contre, il n'en est pas de même des liens entre les unités

---

54 LINDSAY, P.H. et D.A. NORMAN. *Traitement de l'information et comportement humain. Une introduction à la psychologie*. 1980, p. 380-415.

55 Il faut rappeler que l'arbre est un type de réseau.

qui portent une information nouvelle sur la nature des relations, information qui donne toute leur efficacité pédagogique aux réseaux. Il devient alors évident que la relation constitue l'unité d'analyse du réseau. À l'instar de chercheurs comme K. Fisher[56], nous entendons qu'une relation, dans un réseau, prend la forme d'une *proposition* formée d'un sujet (unité source de la relation), d'un verbe (décrivant la relation) et d'un complément d'objet (l'unité cible).

D'une manière générale, une proposition possède trois caractéristiques susceptibles d'être évaluées:

- ses bornes, constituées par les deux unités qu'elle réunit;
- sa direction, qui permet de distinguer le sujet du complément d'objet;
- la nature de la relation exprimée par le verbe;

Les deux premières caractéristiques sont faciles à repérer et à évaluer par comparaison avec la production du professeur. En revanche, l'évaluation de la fonction d'une relation exprimée par un verbe pose un tout autre défi, en particulier dans le cadre de l'informatisation d'un processus d'auto-évaluation formative.

La solution que nous proposons réside dans l'établissement, premièrement, d'une typologie restreinte des relations et, deuxièmement, d'un vocabulaire fermé pour les désigner selon leur classe. Cet artifice permet de gérer une information plus simple et standardisée, condition nécessaire à une rétroaction programmée.

La typologie des relations fait partie des problèmes philosophiques et linguistiques. Notre effort n'a pourtant pas d'autre ambition que d'apporter une solution pratique et adaptée au fonctionnement d'un système informatisé d'auto-évaluation formative.

État de la question

Plusieurs chercheurs se sont déjà penchés sur la question de la typologie des relations et d'un vocabulaire restreint dans la représentation graphique des connaissances. Les opinions divergent entre les auteurs. Les uns pensent qu'une typologie des relations utilisant un vocabulaire restreint et universel est utopique tandis que les autres affirment, à des degrés divers, que l'entreprise est réalisable et proposent une typologie de relations.

---

56 FISHER, K. M., FALETTI, J., PATTERSON, H, THORNTON, R., LIPSON, J. et C. SPRING. «Computer-based Concept Mapping. SemNet software: a tool for describing knowledge networks», dans *Journal of College Science Teaching*, mai 1990, p. 347. Notre traduction.

Parmi les chercheurs qui ne croient pas à la possibilité de créer une typologie de relations décrites par un vocabulaire universel, nous avons relevé le nom de K. Fisher, de l'université de San Diego. Elle et son équipe travaillent sur les réseaux sémantiques et, plus particulièrement, sur un système informatisé de construction de réseaux de concepts. Les auteurs de la recherche décrivent ainsi ce logiciel qui porte le nom de *SemNet*:

> «*SemNet* est un outil polyvalent utile pour représenter des connaissances dans n'importe quel domaine. Il permet la création rapide et facile de structures multidimensionnelles de connaissances. Dans *SemNet*, le savoir est représenté sous la forme d'un réseau de concepts (nommés) liés par des relations. L'utilisateur ou l'utilisatrice entre le nom des concepts et le nom des relations et peut créer autant de liens qu'il ou elle le veut. La signification d'un concept tient dans les relations qu'il entretient avec les autres[57].»

La nécessité d'un vocabulaire pour décrire les relations est évidente pour l'opération d'un logiciel comme *SemNet*, mais Fisher et son équipe déclaraient avoir abandonné l'idée d'un vocabulaire restreint après avoir achoppé sur le problème de la diversité des relations d'un domaine à l'autre:

> «Créer des relations et les utiliser d'une façon cohérente et systématique représentent la plus grande difficulté dans la représentation des connaissances. Les différences entre les manières individuelles de penser sont particulièrement évidentes dans les façons d'utiliser des relations. Nous avons abandonné tout espoir de découvrir un ensemble fermé optimal de relations pour un domaine précis... chaque domaine a ses propres exigences[58]...»

Par exemple, l'équipe de Fisher propose une soixantaine de relations utiles à la description élémentaire de la biologie moléculaire et cellulaire! Malgré ce constat plutôt sombre, nous avons trouvé quelque espoir dans une remarque faite par Fisher qui notait une certaine tendance spontanée des utilisateurs et utilisatrices à employer souvent les mêmes termes généraux pour désigner un type de relation donné:

> «Quand les étudiants et les étudiantes construisent leurs réseaux, ils utilisent souvent une stratégie ascendante, précisant des informations détaillées sur des structures ou des processus. Après avoir décrit plusieurs structures ou processus dans un réseau,

---

57 FISHER, K. M., FALETTI, J., PATTERSON, H, THORNTON, R., LIPSON, J et C. SPRING. «Computer-based Concept Mapping. SemNet software: a tool for describing knowledge networks», dans *Journal of College Science Teaching*, mai 1990, p. 347. Notre traduction.

58 FISHER, K. M., FALETTI, J., PATTERSON, H, THORNTON, R., LIPSON, J. et C. SPRING. «Computer-based Concept Mapping. SemNet software: a tool for describing knowledge networks», dans *Journal of College Science Teaching*, mai 1990, p. 351. Notre traduction.

> certaines constantes deviennent évidentes à leurs yeux. Par exemple, une structure cellulaire sera typiquement décrite par des relations comme *est composée de*, *a comme fonction de*, *a comme caractéristiques de*, et *fait partie de* et ces relations vont se répéter de structure en structure[59].»

Cet espoir a été renforcé par les travaux de Jones, Li et Merrill, d'une part, et par ceux de Marzano et de son équipe, d'autre part.

Jones, Li et Merril, de l'université de l'Utah, affirment l'existence de deux types de vocabulaire pour décrire des relations: un premier, propre à chaque domaine, très spécialisé qui sert à décrire les relations à l'intérieur de ce domaine et un second, plus général, indépendant des domaines et qui permet de décrire le sens des relations dans un but pédagogique:

> «Les relations entre les choses dans le monde sont innombrables. Seules les relations qui ont une pertinence pédagogique sont incluses dans la représentation des connaissances. Ces relations fournissent ou bien de l'information pertinente à la planification, ou bien s'unissent à d'autres structures ou relations de connaissances pour faciliter l'acquisition d'une compétence.
>
> Quand on parle de l'utilité de l'élaboration des relations pour la planification, on peut se demander: «Utilité pour qui»? Deux réponses sont possibles: le concepteur ou la conceptrice et l'apprenant ou l'apprenante d'un côté et le système informatisé de l'autre.
>
> Dans un réseau sémantique traditionnel, duquel provient l'idée d'identifier les relations, chaque lien est nommé individuellement. Cela fournit un maximum de signification à l'humain quand le lien est décrit, mais est inutile pour générer des prescriptions puisque tous les liens sont idiosyncrasiques. L'appellation individuelle de chaque lien sert tout de même à saisir des différences sémantiques fines; en effet, le nom du lien fait partie intégrante de la matière à enseigner ou apprendre.
>
> Quand vient le temps de la planification pédagogique, les décisions ne vont pas varier d'un lien à l'autre; plutôt, des regroupements de liens seront effectués en raison de leur communauté de prescription pédagogique. Pour capturer les nuances sémantiques d'un individu à l'autre tout en les référant à des catégories pertinentes en termes de prescription pédagogique, les liens créés par les utilisateurs et les utilisatrices pourront être nommés d'abord spécifiquement pour ensuite être catégorisés.
>
> Le terme spécifique a la même utilité que dans un réseau sémantique: un nom spécifique sert à identifier chaque relation. Ce terme ne se réfère à rien dans le système de planification

---

59 FISHER, K. M., FALETTI, J., PATTERSON, H, THORNTON, R., LIPSON, J. et C. SPRING. «Computer-based Concept Mapping. SemNet software: a tool for describing knowledge networks», dans *Journal of College Science Teaching*, mai 1990, p. 352. Notre traduction.

pédagogique, mais est probablement significatif dans le domaine. Après que le concepteur et la conceptrice ou l'utilisateur et l'utilisatrice aient entré un lien spécifique, le système informatisé leur demande de le catégoriser d'après une des classes. Le nombre de ces classes est restreint; le pédagogue qui peut les interpréter en termes de nature des unités reliées ou nature du lien. C'est la classe du lien qui est significative dans le système pédagogique[60]. »

Tableau 5
Typologie des relations de Marzano.

Temps	
1- Action subséquente	*est suivi de*
2- Action antérieure	*est précédé par*
3- Action concurrente	*a lieu en même temps que*
4- Action ordonnée	*Tout d'abord, puis, enfin*
Cause	
1- Cause directe	*cause*
2- Résultat	*résulte de*
3- Raison	*entraîne*
4- Inférence	*facilite*
5- Condition	*permet*
Ordre	
1- Égalité	*équivaut à, est plus petit que, est plus grand que*
2- Partie	*fait partie de*
3- Exemple	*est un exemple de*
4- Sommation	*se compose de*
Contraste	
1- Antithèse	se distingue de
2- Alternative	ou
3- Comparaison	se compare à
4- Concession	nonobstant

60 JONES, M., LI , Z. et M. D. MERRILL. «Domain Knowledge Representation for Instructionnal Analysis», dans *Educational Technology*, octobre 1990, p. 22.

Quant à Marzano[61], il a proposé une typologie provisoire des relations. Cette typologie est présentée au tableau 5.

Mis sur la piste par ces auteurs, nous avons entrepris d'élaborer notre propre typologie des relations et de fixer un vocabulaire pour les désigner. Cette solution qui, répétons-le, n'a pas la prétention de déborder du champ d'application de *Copilote*, repose sur trois fondements: la classification des relations, la clarification du rôle de la réciproque, de l'antonyme et du synonyme d'une relation et l'identification de l'unité d'analyse.

Définitions

Les définitions suivantes visent à préciser les expressions dans le sens où nous les entendons dans ce rapport.

Classes de relations

Les classes de relations que nous avons définies reflètent la structure étagée de notre modèle de représentation des connaissances. Il existe ainsi une classe de relations pour chacun des trois niveaux: empirique, hiérarchique et actantiel. Seule la carte résolutoire utilise toutes ces classes, le réseau hiérarchique n'utilisant que les relations propres à ce niveau.

Une classe de relations se subdivise en sous-classes propres à décrire des fonctions particulières déjà identifiées dans chacun des niveaux.

Proposition

Nous appelons proposition l'unité constitutive d'analyse d'un réseau. Cette unité est composée d'un sujet, d'un verbe et d'un complément d'objet. Le verbe, à la troisième personne du singulier, décrit l'effet que le sujet exerce sur le complément d'objet. Le verbe décrit donc la relation. Graphiquement, la relation affiche le verbe comme un nom, l'origine du trait est sujet du verbe et la cible en est le complément. Pour lire ces relations, le lecteur ou la lectrice observe la carte en la balayant de gauche à droite et haut en bas. Il ou elle doit repérer le sens de la flèche qui symbolise la relation et garder présent à l'esprit que l'ordre normal de lecture met le sujet (la source) avant le verbe (la relation) et le verbe avant le complément (la cible).

La proposition constitue l'unité fondamentale d'évaluation des cartes résolutoires et des arbres. Pour procéder à l'évaluation, le système informatisé d'auto-évaluation formative compare le réseau de l'élève à celui du professeur proposition par proposition.

---

61 MARZANO, R. J. & Al. *Dimensions of thinking, A Framework for Curriculum and Instruction*. 1988, s.p.

Primitive, réciproque, négative, antonyme et synonyme

Chaque sous-classe de relations peut s'exprimer par un verbe traduisant le plus clairement possible la nature de la relation. Nous désignons ce verbe comme la *primitive* de la relation. Par exemple, le verbe *causer* peut servir de primitive à la relation de causalité.

De plus, toute proposition peut être lue dans un ordre inverse tel que le complément d'objet devienne le sujet d'une nouvelle proposition. Ces deux propositions fournissent la même information; elles sont *réciproques*. Par exemple, soit la proposition: «l'abaissement de la température en dessous de 0 °C *cause* le gel de l'eau.» La réciproque de cette proposition est: «le gel de l'eau *résulte* de l'abaissement de la température en dessous de 0 °C.» Il va de soi que ces deux formulations différentes, bien qu'elles indiquent une façon particulière de le décrire, décrivent le même phénomène.

Il faut laisser aux utilisateurs et utilisatrices la liberté de commencer à décrire un processus par le point de départ de leur choix et le formuler soit en terme de cause, soit en terme d'effet. Bien qu'il y ait une différence sémantique selon que ce soit l'objet ou l'agent de la relation qui soit utilisé comme sujet de la proposition, si on délaisse la nuance sémantique au profit de l'information portant sur la matière à enseigner ou à apprendre, deux propositions réciproques disent bien la même chose.

Dans la construction d'un réseau, il peut aussi être opportun de désigner l'absence d'une relation par une formulation négative *ne ...pas*. Par exemple, dire «le maintien de la température au-dessus de 0 °C *ne cause pas* le gel de l'eau» contient une information utile. Il va de soi que la réciproque d'une relation négative est aussi possible: «le gel de l'eau *ne résulte pas* du maintien de la température au-dessus de 0 °C».

Il faut distinguer entre la négative et l'*antonyme*. Si la négative révèle l'absence d'une relation, l'antonyme désigne l'existence d'une relation à effet contraire de la relation primitive. Par le terme d'antonymes, on désigne les mots qui ont un sens contraire à celui d'un autre. Ainsi «chaud» a pour contraire «froid» et «propre» a pour contraire «sale». L'antonyme de *cause* serait ainsi *empêche*.

Enfin, il est entendu que tout verbe servant à décrire une relation, sa réciproque ou son antonyme possède des *synonymes*. L'emploi de verbes dont la synonymie est de plus en plus faible finit toutefois par entraîner des glissements de sens regrettables, voire des contre-sens. L'emploi d'un grand nombre de synonymes rend donc difficile, sinon impossible, le maintien d'une étanchéité absolue entre les différentes classes et sous-classes de relations. Pour cette raison, et contrairement à ce qu'annoncent Jones, Li et

Merrill[62], nous avons décidé de ne pas laisser aux utilisateurs ni aux utilisatrices la possibilité d'utiliser leur propre vocabulaire. Des synonymes en nombre restreint seront tout de même disponibles afin de faciliter l'expression de nuances idiosyncrasiques dans *Copilote*.

La figure suivante (figure 11) donne une idée de la structure du vocabulaire que nous proposons.

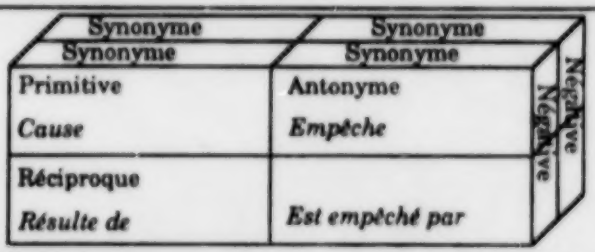

Figure 11

Structure du vocabulaire dans *Copilote* avec la relation de causalité en exemple.

Chaque relation dans *Copilote* peut donc s'exprimer soit par sa primitive, soit par son antonyme, chaque forme pouvant avoir sa réciproque. De plus, ces quatre verbes ont des synonymes et le tout peut s'exprimer de façon négative.

Typologie et vocabulaire des relations utilisées dans les réseaux

Notre typologie distingue donc trois grandes classes de relations selon leurs fonctions, chacune correspondant à un des trois premiers niveaux d'analyse de *Copilote*. Ces classes sont celles des relations empiriques, des relations hiérarchiques et des relations actantielles.

Ces trois groupes de relations correspondent respectivement aux niveaux de l'empirique, du hiérarchique et de l'actantiel. À proprement parler, il n'y a pas de relations de type résolutoire puisqu'une carte résolutoire n'est faite que de concepts empiriques, de taxèmes ou de phases, d'actèmes et des relations que ces différentes unités de connaissances entretiennent dans le cadre de la solution d'un problème donné.

Chacune de ces trois classes regroupe en sous-classes d'autres relations de sorte que *Copilote* offre un ensemble de douze relations (figure 12).

---

62 JONES, M., LI , Z. et M. D. MERRILL. «Domain Knowledge Representation for Instructionnal Analysis», dans *Educational Technology*, octobre 1990, p.22 .

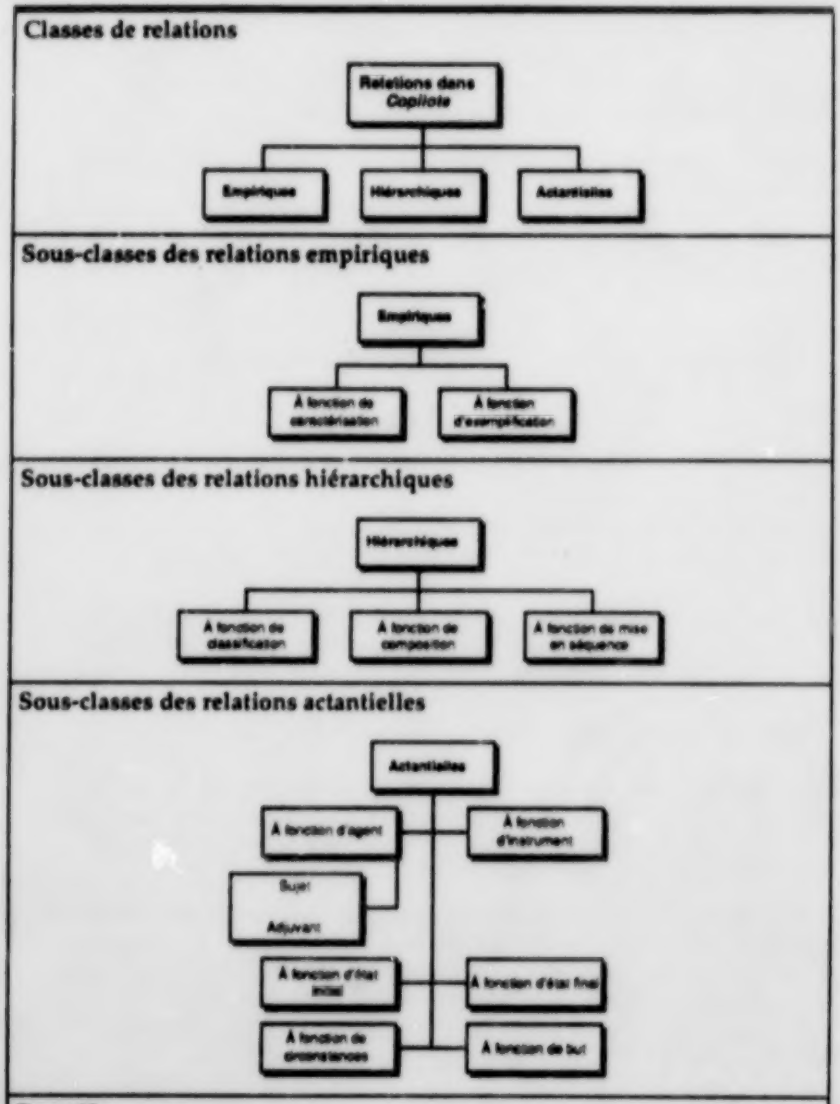

Figure 12

Classes et sous-classes des relations dans les réseaux de *Copilote*.

Relations empiriques

Les relations empiriques permettent de décrire les concepts. Elles en précisent les attributs, c'est-à-dire les propriétés et caractéristiques. Elles leur apparentent également d'autres concepts à titre d'exemples. Ces relations préparent donc à distinguer ou à regrouper les concepts de façon systématique.

Ces relations ne sont utiles que dans le cas des cartes résolutoires.

Nous distinguons deux types de relations empiriques:

- les relations à fonction de caractérisation;
- les relations à fonction d'exemplification.

Relations à fonction de caractérisation

Les relations à fonction de caractérisation permettent de saisir les attributs caractéristiques qui font la spécificité d'un objet, d'une personne ou d'un concept.

Par attribut, nous entendons toute propriété permettant de caractériser un objet. Cette propriété, qui est contenue dans un nœud de la carte, peut se présenter sous forme d'un concept, d'un taxème, d'une phase ou d'un actème. La figure 13 illustre le fragment d'une carte résolutoire présentant les différents types d'attributs susceptibles d'y être utilisés.

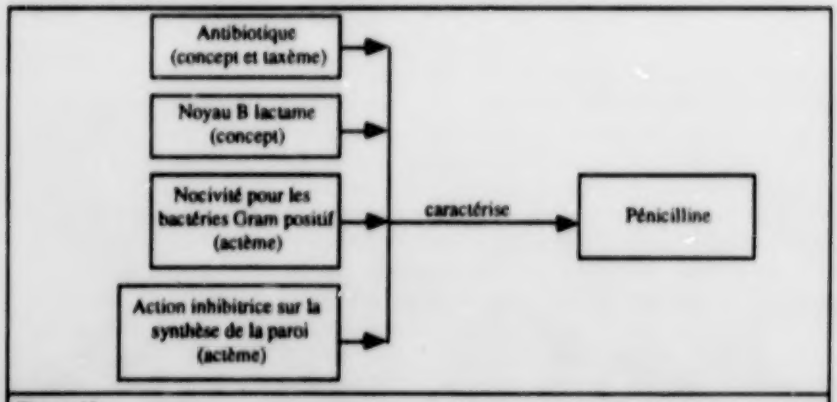

Figure 13

Exemple d'attributs impliqués dans une relation de caractérisation utilisée dans une carte résolutoire.

Les attributs peuvent être de nature distinctive ou conjonctive. Les premiers permettent de distinguer ce qui différencie les objets d'un même groupe tandis que les seconds permettent d'apparenter les objets. Ces opérations de

caractérisation conjonctive et disjonctive sont d'une grande importance dans la mesure où elles constituent une opération préliminaire à la construction des taxonomies. En effet, cette opération demande de repérer les traits communs et distinctifs avant d'établir une filiation correcte entre les différents sous-groupes.

Servant à établir les attributs, ces relations à fonction de caractérisation s'exprimeront par l'expression *caractérise*. Ainsi, on dira que «le plumage *caractérise* un oiseau». L'expression réciproque sera ici , comme dans bien d'autres cas, la formulation passive *se caractérise par*. L'antonyme fera référence au contraire de la capacité de distinction de la relation primitive et se traduira par *confond*, et connaîtra une forme réciproque: *est confondu par*.

Les relations d'attributs ne sont utilisées que dans les cartes résolutoires quand on veut établir une relation entre un concept et certains de ses attributs intervenants à leur tour dans une autre proposition. Ainsi, dans une carte résolutoire sur la thérapeutique antibactérienne, on dira que «*l'action inhibitrice sur la synthèse de la paroi caractérise la pénicilline*» parce que, par ailleurs, cette caractéristique intervient dans la relation d'agent avec l'actème «*Formation de sphéroplastes*» (voir cette carte résolutoire, à la page 83).

Relations à fonction d'exemple

Seconde catégorie des relations d'attribut, les relations à fonction d'exemple établissent un lien entre un concept et des objets, des faits précis qui illustrent ce concept.

À propos de ce type de relations, il importe de souligner qu'il peut paraître contradictoire de placer les relations à fonction d'exemple dans le groupe des relations empiriques plutôt que dans celui des relations hiérarchiques. En effet, l'exemple se réfère implicitement à plusieurs attributs considérés simultanément. Comme la reconnaissance de ces attributs permet de distinguer un objet d'autres objets plus ou moins apparentés, les relations à fonction d'exemple sont très proches des relations à fonction hiérarchique. Pourtant, elles ne peuvent y être assimilées car un exemple ne tient pas compte de la position hiérarchique de ce qui pourrait être considéré comme un taxème. Ainsi, quand on dit que «Tikal est un exemple de centre urbain maya», on sous-entend que ce site fait partie d'une typologie des sites mayas, sans toutefois prendre en considération les autres éléments de la classification des centres urbains (classiques, préclassiques, *puuc* ou *chenes*). Voilà donc encore une fois illustré le problème de la multiplicité insaisissable des facettes des connaissances.

Les relations à fonction d'exemple se traduisent par l'expression *est un exemple de* ou la réciproque *est illustré par*» L'antonyme renvoie ici à l'exception et s'énonce par *est une exception à* ou sa réciproque *est excepté par*.

À l'instar des précédentes, ces relations ne s'utilisent que dans les cartes résolutoires.

Relations hiérarchiques

Deuxième groupe de relations, les relations de hiérarchie permettent de classer les concepts selon un rapport de subordination et d'importance respective au sein d'un ensemble.

Ces relations se rapportent au domaine de la taxonomie et à celui des séquences. Elles sont les seules à être employées tant pour les réseaux hiérarchiques que résolutoires.

Nous distinguons trois sous-groupes de relations de hiérarchie: les relations à fonction de classification, les relations à fonction de composition et les relations à fonction de séquence.

Relations à fonction de classification

Les relations à fonction de classification expriment l'idée d'une distribution systématique, d'un classement en diverses catégories d'après des critères précis et dans un ordre déterminé, dans le but de grouper les objets de même nature. Elles traduisent un mouvement de l'esprit allant du particulier au général.

Les relations à fonction de classification se traduiront par l'expression *regroupe* et auront une direction descendante.

On dira dans l'exemple de taxonomie ci-dessous (figure 14), que les lymphocytes T régulateurs *regroupent* les lymphocytes T amplificateurs, tout comme on dira que les amphibiens *regroupent* les batraciens ou que les primates *regroupent* le chimpanzé.

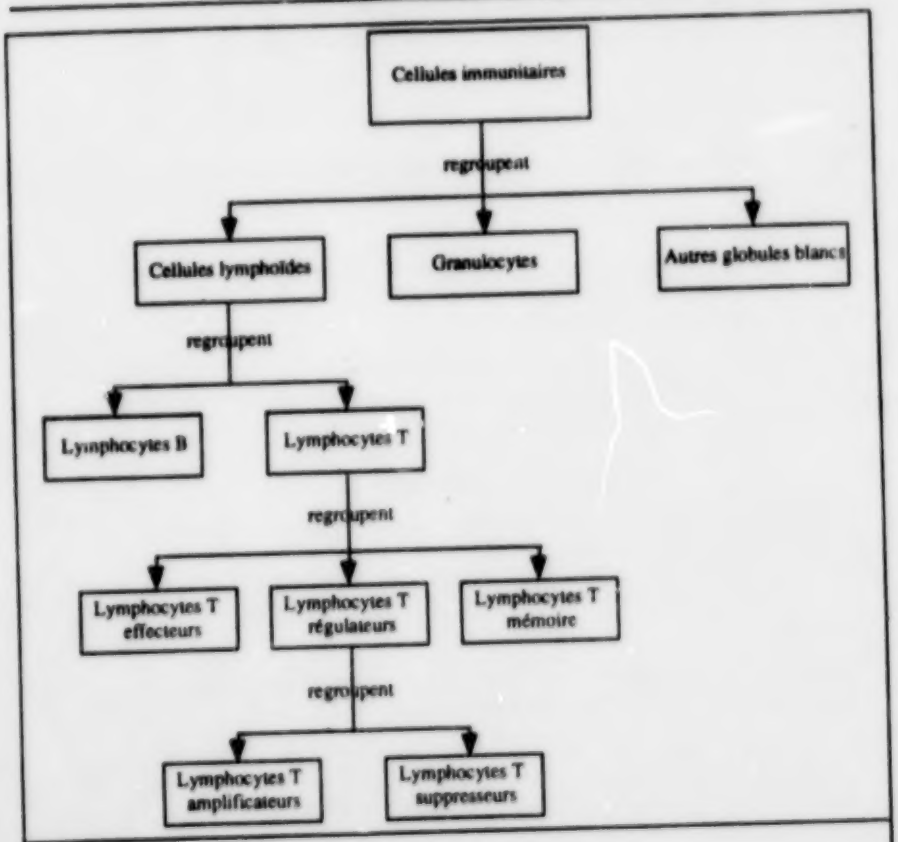

Figure 14

Exemple de relations à fonction de classification.

Cette relation peut s'exprimer également par la réciproque *est une sorte de*. L'antonyme renvoie à l'idée d'exclusion et se formule par *exclut* ou la réciproque *est exclu de*.

Relations à fonction de composition

Les relations à fonction de composition expriment la notion d'organisation, de structure ou d'assemblage des éléments d'un tout, d'un ensemble. Elles servent à exprimer le mouvement de l'esprit qui va du général au particulier.

Les relations à fonction de composition se traduiront donc par l'expression *se compose de* ou la réciproque *est une partie de*.

On dira, par exemple (figure 15), que «le noyau *est une partie de* la cellule ou que le volant *est une partie* d'une automobile.»

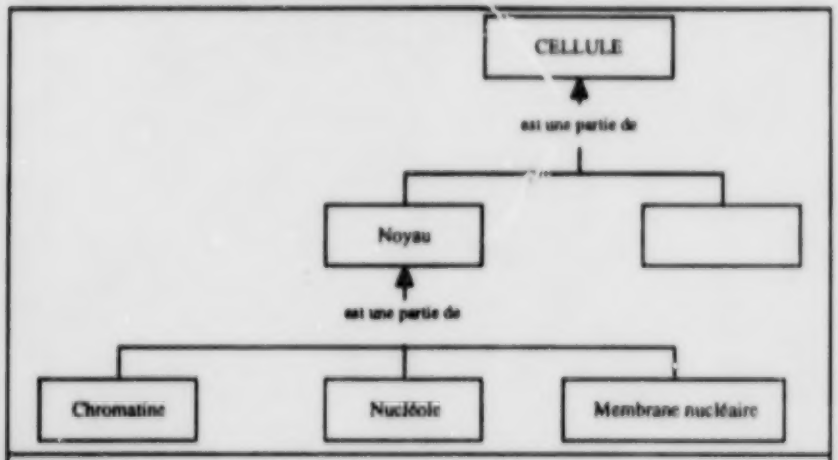

Figure 15

Exemple de relation à fonction de composition.

L'antonyme de la relation de composition sert à évoquer la dissociation de parties. Il se formulera donc par *dissocie* ou, de façon réciproque, par *est dissocié de*.

Relation à fonction de séquence

Les relations à fonction de séquence expriment la notion de succession dans le temps, la notion de chronologie, c'est-à-dire d'une suite ordonnée d'opérations, d'événements, d'objets, de mots, etc., formant soit un ensemble linéaire non ramifié et donnant naissance à un réseau ressemblant à un bambou dont les renflements réguliers correspondraient aux nœuds du réseau, soit, quand il y a coïncidence de plusieurs événements, à un réseau ramifié traditionnel.

Les relations à fonction de séquence se traduiront par le verbe *précède* et sa réciproque *suit* ou par le verbe *coïncide*, formulation symétrique qui sert d'antonyme aux deux formes précédentes.

On dira, par exemple (figure 16), que «l'activation du facteur XII de la coagulation *précède* l'activation du facteur VIII.»

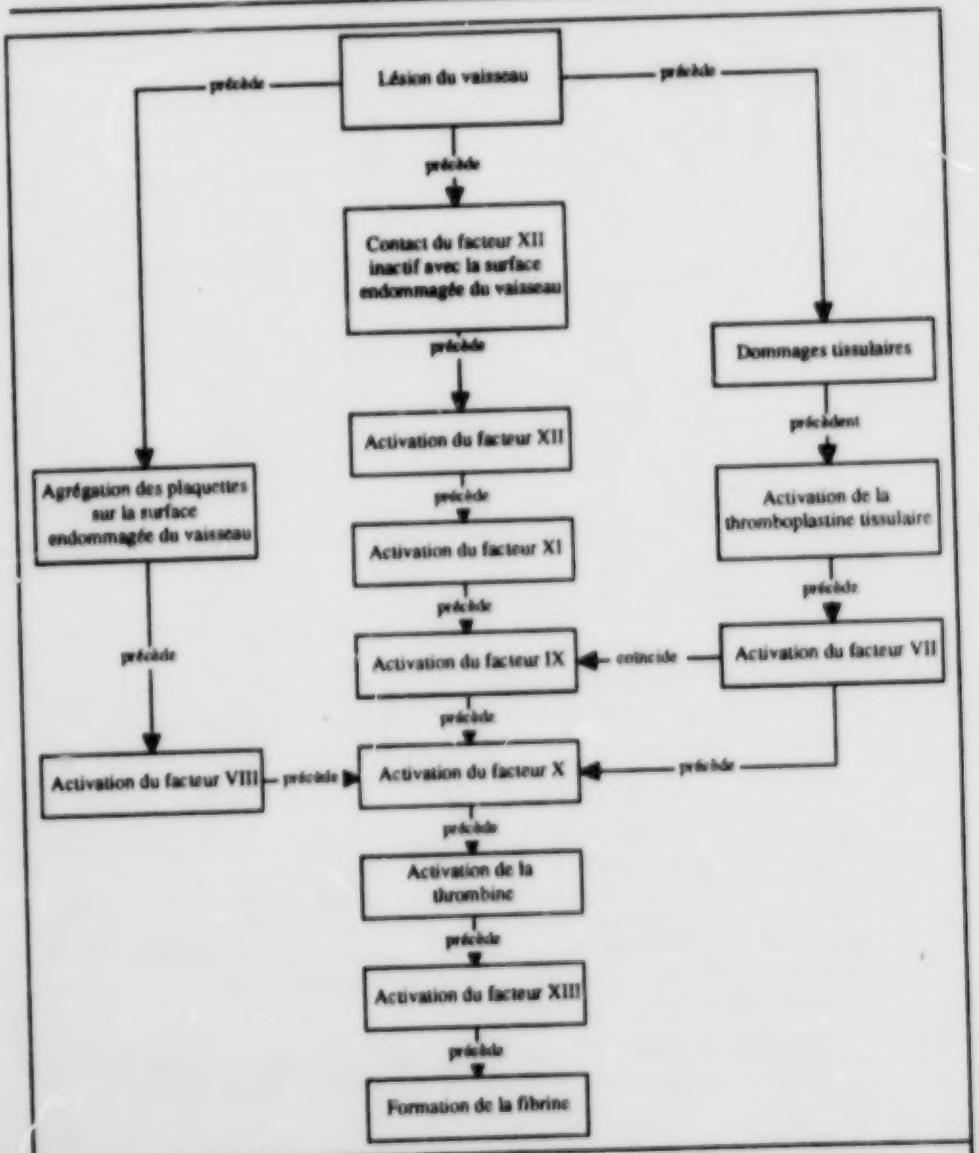

Figure 16

Exemple de relation de séquence.
Ce réseau représente la cascade d'événements qui surviennent lors de la coagulation. Il insiste sur l'aspect chronologique du processus, mais il est à noter qu'on aurait pu réaliser un réseau identique indiquant les relations de causalité.

Relations actantielles

Troisième catégorie de relations de notre typologie, les relations actantielles permettent de décrire dans les cartes résolutoires les relations au cours desquelles les objets, les individus, les concepts entrent en action, réalisent ou subissent des transformations.

La typologie des relations actantielles est directement liée à la fonction que remplissent les nœuds d'une carte. Nous considérons qu'un nœud (que ce soit un concept, un taxème ou un actème) en relation avec un autre nœud représentant un actème peut exercer sur ce dernier l'une des six fonctions présentes dans le schème actantiel.

Le nœud sujet d'une proposition peut ainsi représenter l'agent d'une transformation, un instrument, le but d'une transformation, l'état initial (avant la transformation), l'état final (après la transformation); il peut enfin représenter des circonstances dans lesquelles se déroule une transformation.

Nous proposons donc six relations[63], et leur inverse respectif, de direction centrifuge ou centripète originant ou aboutissant des nœuds actèmes. Chacune de ces relations exprime une fonction particulière et caractérise le rôle du pôle de l'actème que l'on veut considérer (figure 17).

---

63 La case «transformation» ne fait jamais l'objet d'une relation dans le mode résolutoire. Elle est un des éléments essentiels du schème actantiel et n'est développée que dans ce mode.

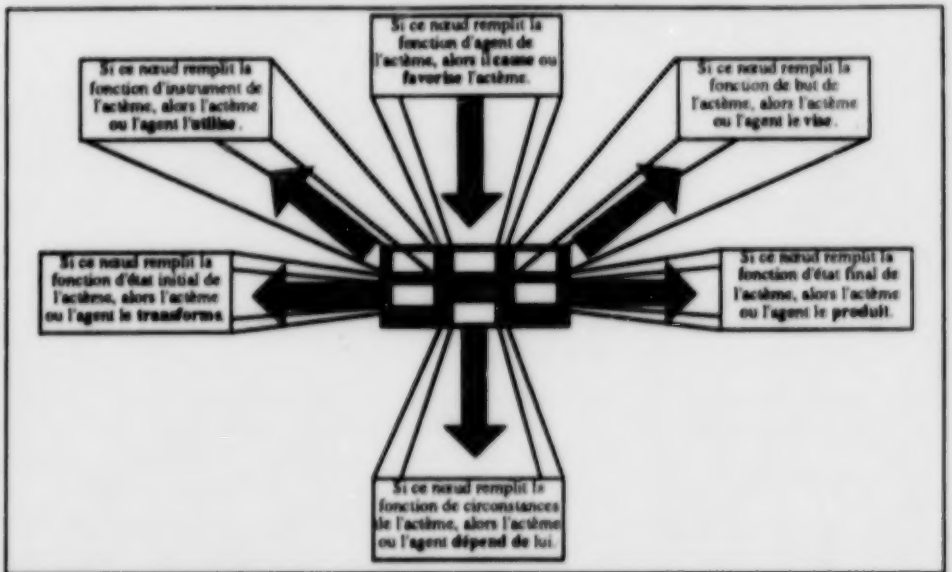

Figure 17

Relations actantielles entre des nœuds variés et un autre, représentant un actème.

Par synecdoque, le langage courant confondra souvent la totalité de l'actème avec son agent. Il arrive donc fréquemment de dire indifféremment que l'agent ou tout l'actème poursuit un but ou utilise un instrument. Par exemple, pour dire que les antibiotiques sont des instruments entre les mains des spécialistes de l'antibiothérapie, on avancera que «l'antibiothérapie *utilise* des antibiotiques.» C'est pourquoi, dans la figure 17, on peut substituer «agent» à «actème» dans tous les cas, à l'exception de celui de la fonction d'agent même.

Relation à fonction d'agent

Situation la plus fréquente dans une carte résolutoire, un nœud peut représenter l'agent d'une transformation. Cet agent cause un effet. Cette relation établie entre deux nœuds en est donc une de causalité.

Dans les relations à fonction d'agent, il faut distinguer deux cas de figure: l'agent est soit le seul sujet responsable de la transformation, soit un agent adjuvant. Par agent sujet, nous entendons que l'agent est le seul responsable de la transformation et, par adjuvant, que l'agent joue le rôle d'aide ou, en d'autres termes, qu'il contribue à sa réalisation sans en être le seul responsable.

Agent sujet

Puisque l'agent est le seul responsable de la transformation, on dira qu'il *cause* l'activité. C'est ce qu'illustre la proposition «La pénicilline *cause* le blocage de la synthèse de la paroi des bactéries Gram positif» traduite dans la figure 18.

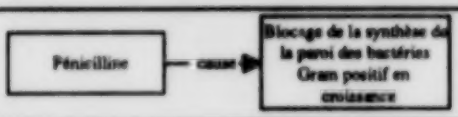

Figure 18

Exemple d'utilisation de la relation à fonction d'agent sujet dans une carte résolutoire.

Lue à l'inverse, la relation utilisera le verbe *résulte de*, comme ici : «Le blocage de la synthèse de la paroi des bactéries Gram positif *résulte de* la pénicilline.»

Si l'agent bloque la transformation, on emploiera l'antonyme de *cause*, c'est-à-dire *empêche* ou, réciproquement, *est empêché par* (figure 19).

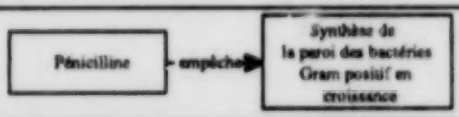

Figure 19

Exemple d'utilisation de l'antonyme de la relation d'agent sujet dans une carte résolutoire.

On notera que les deux figures précédentes contiennent une information équivalente, après la modification d'un des nœuds. Dans la première formulation, le nœud utilise une expression négative: «Blocage de la synthèse...» alors que, dans la deuxième, le nœud renferme une expression positive: «Synthèse...». Ceci constitue une illustration du jeu possible des formulations positives ou négatives des nœuds sur lequel nous reviendrons.

Agent adjuvant

Dans ce cas, l'agent contribue à la réalisation de la transformation. Il n'en est pas totalement et directement responsable, mais il la facilite ou l'entrave partiellement. On emploiera alors les termes *favorise* ou *défavorise* pour qualifier ces relations particulières et très importantes quand on veut faire ressortir le rôle de plusieurs agents dans une transformation (figure 20). Les réciproques de ces formes respectives sont *profite de* et *est défavorisé par*.

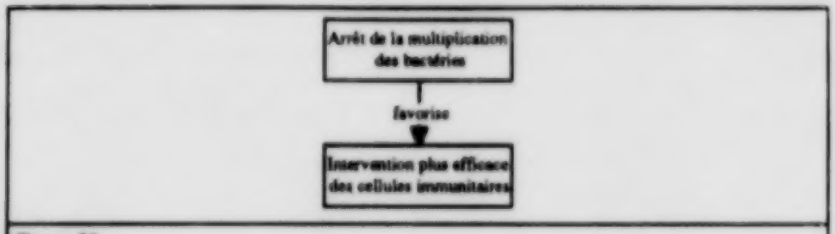

Figure 20

Exemple d'utilisation de la relation à fonction d'agent adjuvant dans une carte résolutoire.

Relation à fonction d'instrument

Un nœud peut remplir une fonction d'instrument. Généralement, dans la transformation qu'il exécute, un agent se sert d'un instrument. On emploiera le verbe *utilise* pour décrire cette relation (figure 21). Réciproquement, on utilisera la forme passive *est utilisé par*.

La formulation antonymique est plus difficile à établir. On y recourra quand on voudra signaler qu'un instrument n'a pas été utilisé, en dépit de sa disponibilité. Le verbe *se passe de* peut traduire cette idée. La formulation réciproque pourra se traduire par la locution *est délaissé par*.

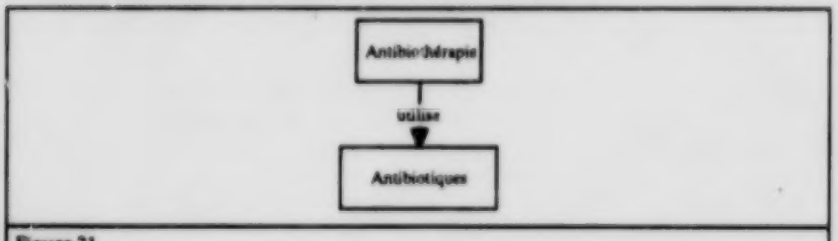

Figure 21

Exemple d'utilisation de la relation à fonction d'instrument dans une carte résolutoire.

Relation de but

Dans certains cas, un nœud peut exprimer une certaine finalité, un but, un dessein, un objectif à atteindre. Il est exprimé par le verbe *vise* ou, quand il est nécessaire de marquer la forme antonymique, par *évite*. Par exemple, on dira que «la thérapeutique antibactérienne *vise* le maintien de la santé» ou que «la

thérapeutique antibactérienne *évite* la détérioration de la santé» (figure 22). La réciproque de chacune de ces formes s'obtient par la formulation passive *est visé par* et *est évité par*.

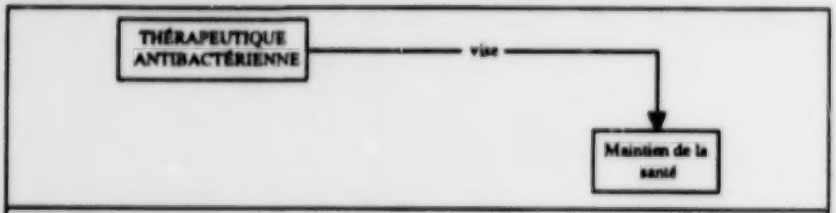

Figure 22

Exemple d'utilisation de la relation à fonction de but dans une carte résolutoire.

Il importe de signaler que cette relation ne devrait être établie que lorsque l'actème dispose d'un agent autodirigé, c'est-à-dire capable d'organiser son action en fonction d'un but.

Relation à fonction de circonstances

Un nœud peut renvoyer à des circonstances. Par circonstances, on désigne un ou plusieurs faits qui accompagnent ou influencent un événement de façon positive ou négative. Cette influence peut être décrite par le verbe *dépend de*, comme on le fait quand on affirme que «L'arrêt de la multiplication bactérienne *dépend* de l'action bactériostatique de l'antibiotique» (figure 23). Lue de manière réciproque, cette proposition deviendra: «L'action bactériostatique de l'antibiotique *conditionne* l'arrêt de la multiplication bactérienne.»

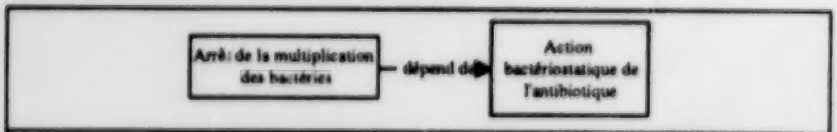

Figure 23

Exemple d'utilisation de la relation à fonction de circonstances dans une carte résolutoire.

Pour exprimer l'antonyme de cette relation on pourra dire *est insensible à* ou, quand on formule sa réciproque, *est sans effet sur*.

Relation à fonction d'état initial

Dans une carte résolutoire, une nouvelle proposition peut être créée à partir d'un actème dont on a rouvert la case «état initial» et qu'on relie à un

nouveau nœud par la relation *transforme* (figure 24). De manière réciproque, on dira *est transformé par*.

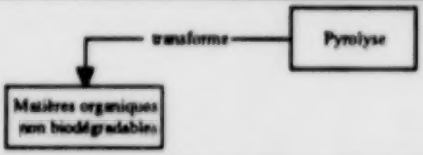

Figure 24

Exemple d'utilisation de la relation à fonction d'état initial dans une carte résolutoire.

Si cela devient nécessaire, on devra utiliser une formulation antonymique telle *maintient* ou sa réciproque *est maintenu par*.

Relations à fonction d'état final

On peut raccorder de nouvelles propositions à un actème donné après en avoir extrait l'objet en état final et l'avoir mis en relation à l'aide du terme *produit* dont la variante réciproque sera *est produit par* (figure 25).

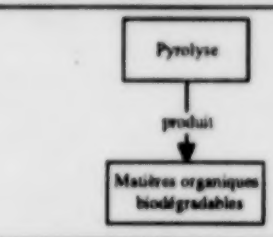

Figure 25

Exemple d'utilisation de la relation à fonction d'état final dans une carte résolutoire.

L'usage de l'antonyme fera référence au fait qu'une production attendue n'a pas eu lieu ou qu'elle a été ratée. On utilisera donc le verbe *rate* et sa forme passive *est raté par* pour désigner l'antonyme de la relation à fonction d'état final.

Tableau récapitulatif des relations

On trouvera en annexe (annexe I) l'ensemble du vocabulaire que nous avons élaboré pour désigner toutes les variantes et leurs synonymes des douze

relations. Le tableau 6 retient de cette information la formulation primitive et sa réciproque.

Tableau 6
Fonctions et vocabulaire restreint des relations.

RELATIONS	FONCTIONS	PRIMITIVE ET SA RÉCIPROQUE	ANTONYME ET SA RÉCIPROQUE
RELATIONS EMPIRIQUES (CARTES RÉSOLUTOIRES)			
Relations à fonction de caractérisation	Saisir les attributs caractéristiques distinctifs ou conjonctifs d'une unité	*caractérise/ se caractérise par*	*confond/ est confondu par*
Relations à fonction d'exemple	Établir un lien entre une unité et des objets, des faits précis l'illustrant	*est un exemple de/ est illustré par*	*est une exception à/ est exclu par*
RELATIONS HIÉRARCHIQUES (CARTES RÉSOLUTOIRES ET ARBRES HIÉRARCHIQUES)			
Relations à fonction de classification	Traduire une distribution systématique, un classement, en diverses catégories d'après des critères précis et dans un ordre déterminé dans le but de grouper les objets de même nature	*regroupe/ est une sorte de*	*exclut/ est exclu de*
Relations à fonction de composition	Traduire l'organisation de structure ou assemblage des éléments d'un tout, d'un ensemble	*se compose de/ est une partie de*	*dissocie/ est dissocié de*
Relations à fonction de séquence	Traduire la succession dans le temps, la notion de chronologie, c'est-à-dire une suite ordonnée d'opérations, d'événements, d'objets	*précède/ suit*	*coincide*
RELATIONS ACTANTIELLES (CARTES RÉSOLUTOIRES)			
Relations à fonction d'agent			

Agent-sujet **Agent-adjuvant**	Traduire une relation de causalité directe et unique Traduire une relation d'aide	*cause/* *résulte de* *favorise/* *profite de*	*Empêche/* *est empêché par* *défavorise/* *est défavorisé par*
Relations à fonction d'instrument	Traduire le rôle de l'instrument utilisé par l'agent d'une transformation	*utilise/* *est utilisé par*	*se passe de/* *est délaissé par*
Relations à fonction de but	Exprimer une certaine finalité, un but, un dessein, un objectif à atteindre	*vise/* *est visé par*	*évite/* *est évité par*
Relations à fonction de circonstances	Établir l'influence de faits qui accompagnent et se répercutent sur un événement de façon positive ou négative	*dépend de/* *conditionne*	*est insensible à/* *est sans effet sur*
Relations à fonction d'état initial	Développer un actème à partir de son pôle état initial	*transforme/* *est transformé par*	*maintient/* *est maintenu par*
Relations à fonction d'état final	Développer un actème à partir de son pôle état final	*produit/* *est produit par*	*rate/* *est raté par*

Exemple de la typologie des relations

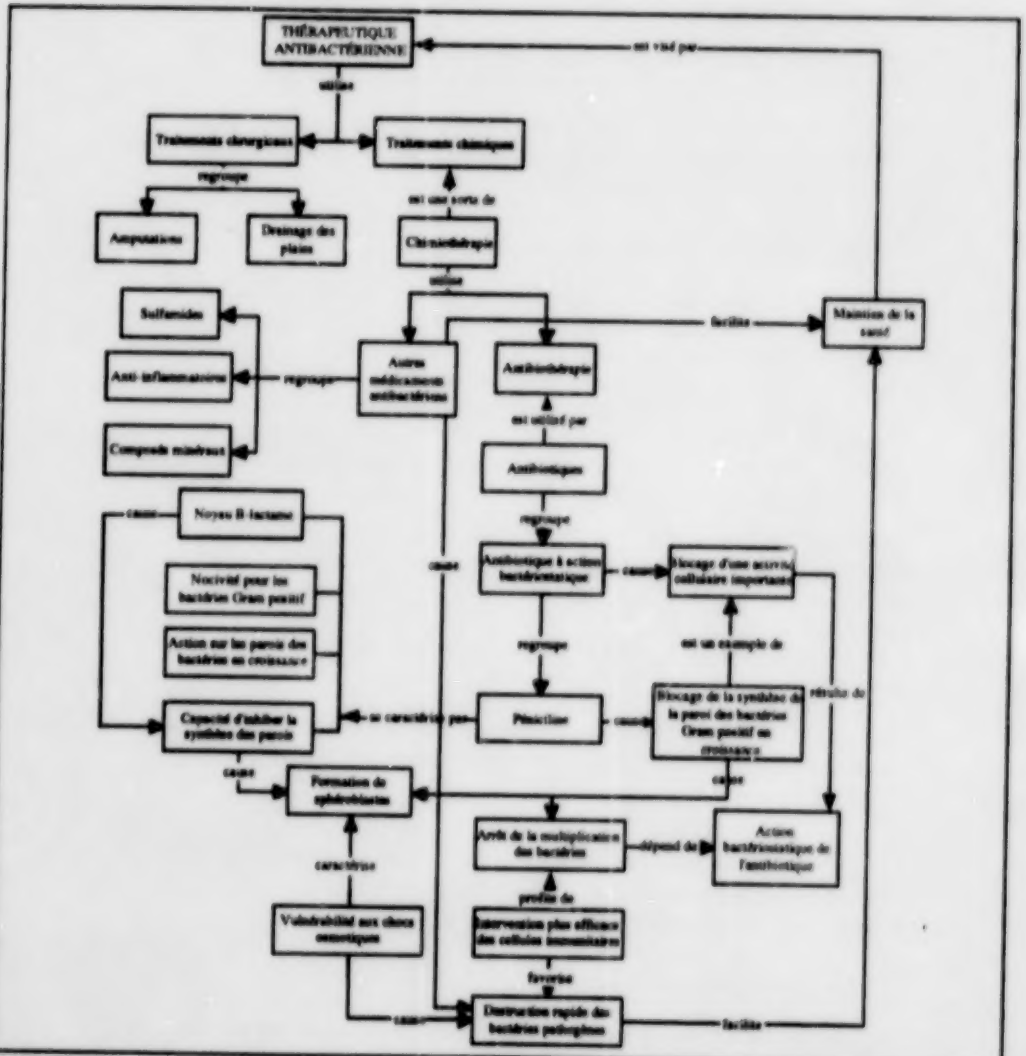

Figure 26 *Thérapeutique antibactérienne*

Exemple d'une carte résolutoire utilisant le vocabulaire restreint.

Nous avons mis à l'épreuve notre typologie des relations en l'utilisant pour construire de nombreuses cartes résolutoires et de nombreux arbres (voir la

partie *Validation de la méthode*). Les choix dans le vocabulaire découle d'ailleurs de cette première expérience.

L'exemple de carte résolutoire de la figure 26 est tiré de cette première validation et reprend quelques-unes des relations de notre typologie.

Relativement à la formulation des propositions, il faut présenter des recommandations relatives à la façon de formuler les relations et discuter de la question du vocabulaire restreint.

Formulations des relations négatives

Nous avons déjà vu qu'il est possible de formuler une relation par le biais d'une primitive, de sa réciproque, de son antonyme, de la réciproque de son antonyme, chacune de ces formes disposant d'une variante négative. Nous avons également rencontré un exemple (figure 27) illustrant la possibilité de formuler un nœud de manière négative: «Blocage de la synthèse des protéines...» au lieu de «Synthèse des protéines...» Approfondissons cet exemple pour faire comprendre comment utiliser les formulations négatives dans un réseau.

Il serait maladroit de dire que «*la pénicilline* ***empêche*** *la synthèse de la paroi bactérienne*» car cette formulation négative aboutit à un cul-de-sac ou introduit un contresens dans la suite de la croissance de la carte. En effet, le nœud *synthèse de la paroi bactérienne* ne pourrait être mis en relation avec le nœud *arrêt de la multiplication des bactéries*. Le problème est réglé avec une formulation positive: «*la pénicilline* ***cause*** *le blocage de la synthèse de la paroi bactérienne.*» On peut dire alors que «*la pénicilline* ***cause*** *le blocage de la synthèse de la paroi bactérienne*» (première proposition) et ensuite que «*le blocage de la synthèse de la paroi* ***cause*** *l'arrêt de la multiplication bactérienne*» (seconde proposition).

Avec toute cette flexibilité, il semble bien que la structure du vocabulaire de *Copilote* dispose de suffisamment de souplesse pour permettre l'expression de relations complexes et nuancées. Et pourtant son usage sera sans doute ressenti comme contraignant et limitant.

Usage des synonymes

Pour éviter les réticences que pourraient susciter la «pauvreté» d'un vocabulaire par trop restreint, nous proposons aux utilisateurs et aux utilisatrices, qu'ils travaillent en mode professeur ou en mode élève, de choisir parmi différents verbes synonymes d'un type de relation donnée (voir annexe x). Par exemple, pour la relation d'agent sujet, on trouvera les verbes *cause, provoque, engendre, entraîne, occasionne, donne lieu à, etc.* Cependant, lors de l'analyse de la proposition, *Copilote* n'évaluera pas le verbe proprement dit

sous-classe de la relation exprimée par le ve
relation traduisant le rôle de sujet responsable de la t

Le choix d'un synonyme ne fera donc pas l'objet d'une
offert que pour faciliter l'expression des relations. Il va
que chaque verbe ne peut se trouver offert comme synon
seule sous-classe du vocabulaire. L'affectation d'un verbe
ou à une autre à parfois nécessité une décision arbitraire. L
structurante et diagnostique de *Copilote* n'est accessible qu'

Un vocabulaire restreint

Malgré son vocabulaire relativement complexe et nuancé, *Copilo*
faire preuve de toutes les nuances et finesses sémantiques. En d'
termes, les réseaux ne peuvent se substituer à la rédaction d'un te
réponse à une question à développement. Telles des radiographies
révèlent la structure interne du corps, ces représentations graphique
pour but de révéler la capacité d'un étudiant ou d'une étudiante à or
ses connaissances en établissant des liens entre les concepts, les taxèm
actèmes qu'il juge pertinents dans la résolution d'une question donnée

Par ailleurs, un professeur qui désirerait évaluer un étudiant ou une étu
sur sa capacité de décrire en détail et à l'aide d'un vocabulaire très précis
élément de cours devra faire appel à d'autres instruments appropriés, com
la rédaction d'un texte, une dissertation, une réponse écrite à une question
ouverte (conventionnelle). Le tracé d'un réseau pourrait malgré tout être
exigée en préalable à l'effort de rédaction d'une dissertation pour laquelle il
constituerait en quelque sorte l'équivalent d'un plan fonctionnel.

Critères de maîtrise

En mode d'auto-évaluation, *Copilote* offre à l'utilisateur ou à l'utilisatrice la possibilité de composer des arbres, des schèmes ou une carte résolutoire à partir d'unités *disponibles*. Ces unités sont rendues disponibles soit par la décision arbitraire du concepteur ou de la conceptrice du domaine, soit par suite de leur maîtrise par la personne qui s'auto-évalue. Dans le premier cas, le concepteur ou la conceptrice considère que ces unités sont déjà acquises et qu'elles n'ont pas à faire l'objet d'une nouvelle interrogation. Rien n'empêche cependant d'introduire un certain nombre de leurres dans la liste d'unités accordées. Dans le second cas, les unités disponibles sont des unités accordées par suite de leur maîtrise, c'est-à-dire après qu'on ait bien répondu à une question portant sur le *développement* de l'unité.

Nous abordons ici la question des critères de maîtrise du développement d'une unité et qui servent à établir les conditions de leur accord.

Maîtrise des concepts empiriques

Un concept empirique pourrait être déclaré acquis, et de ce fait devenir disponible pour être traité aux niveaux supérieurs, quand l'élève est capable de répondre à une question portant sur l'une des habiletés suivantes:

- définir le concept;
- reconnaître, identifier le concept présenté sur un schéma ou une photographie;
- énumérer les attributs structuraux caractéristiques du concept;
- identifier ces attributs structuraux sur des schémas ou des photos;
- énumérer les attributs fonctionnels caractéristiques du concept;
- donner des exemples de ce concept.

Pour illustrer ce propos, prenons l'exemple du concept de lymphocyte T. Ce concept empirique sera déclaré maîtrisé quand l'élève aura, selon le cas:

a) donné la définition de ce type de lymphocyte;

b) décrit la cellule et identifié les différentes structures cellulaires caractéristiques;

c) associé les fonctions et les structures caractéristiques;

d) identifié les principaux types de récepteurs fonctionnels caractéristiques;

Critères de maîtrise

En mode d'auto-évaluation, *Copilote* offre à l'utilisateur ou à l'utilisatrice la possibilité de composer des arbres, des schèmes ou une carte résolutoire à partir d'unités *disponibles*. Ces unités sont rendues disponibles soit par la décision arbitraire du concepteur ou de la conceptrice du domaine, soit par suite de leur maîtrise par la personne qui s'auto-évalue. Dans le premier cas, le concepteur ou la conceptrice considère que ces unités sont déjà acquises et qu'elles n'ont pas à faire l'objet d'une nouvelle interrogation. Rien n'empêche cependant d'introduire un certain nombre de leurres dans la liste d'unités accordées. Dans le second cas, les unités disponibles sont des unités accordées par suite de leur maîtrise, c'est-à-dire après qu'on ait bien répondu à une question portant sur le *développement* de l'unité.

Nous abordons ici la question des critères de maîtrise du développement d'une unité et qui servent à établir les conditions de leur accord.

Maîtrise des concepts empiriques

Un concept empirique pourrait être déclaré acquis, et de ce fait devenir disponible pour être traité aux niveaux supérieurs, quand l'élève est capable de répondre à une question portant sur l'une des habiletés suivantes:

- définir le concept;
- reconnaître, identifier le concept présenté sur un schéma ou une photographie;
- énumérer les attributs structuraux caractéristiques du concept;
- identifier ces attributs structuraux sur des schémas ou des photos;
- énumérer les attributs fonctionnels caractéristiques du concept;
- donner des exemples de ce concept.

Pour illustrer ce propos, prenons l'exemple du concept de lymphocyte T. Ce concept empirique sera déclaré maîtrisé quand l'élève aura, selon le cas:

a) donné la définition de ce type de lymphocyte;

b) décrit la cellule et identifié les différentes structures cellulaires caractéristiques;

c) associé les fonctions et les structures caractéristiques;

d) identifié les principaux types de récepteurs fonctionnels caractéristiques;

e) reconnu (distingué) des lymphocytes T sur des photographies et des schémas représentant les différentes catégories de cellules immunitaires;

f) décrit les différentes fonctions immunitaires des lymphocytes T;

g) donné des exemples de lymphocytes T (effecteurs, suppresseurs, amplificateurs, à mémoire, etc.).

Maîtrise des taxèmes

Les taxèmes sont les unités fondamentales des arbres hiérarchiques. Un taxème est déclaré maîtrisé quand l'étudiant ou l'étudiante a établi son ascendance jusqu'au nœud racine. En d'autres termes, il doit représenter la partie de l'arbre ou séquence comprenant tous les taxèmes ascendants jusqu'au nœud racine.

Dans la hiérarchie des lymphocytes T, la rétroaction reconnaît correcte la séquence représentée dans l'arbre ci-dessous.

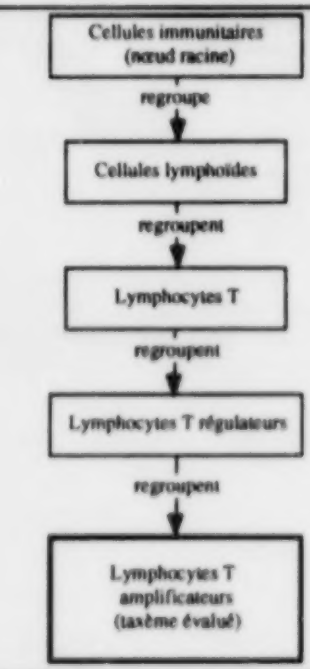

Figure 27

Maîtrise d'un taxème.
Cette séquence montre bien que les lymphocytes T amplificateurs sont une sorte de lymphocytes T régulateurs, que ces lymphocytes T régulateurs constituent un sous-ensemble des lymphocytes T. Ces lymphocytes T sont une sorte de cellules lymphoïdes qui elles-mêmes appartiennent aux cellules immunitaires.

Au cours de son travail, l'étudiant ou l'étudiante a la possibilité de s'auto-évaluer, de savoir comment évolue sa production et s'il progresse dans la bonne direction. Ultimement, pour être accordé, l'arbre demandé doit être complet et sans fautes. Dans cet exemple (figure 28), l'élève devra classer et relier correctement tous les groupes de cellules immunitaires.

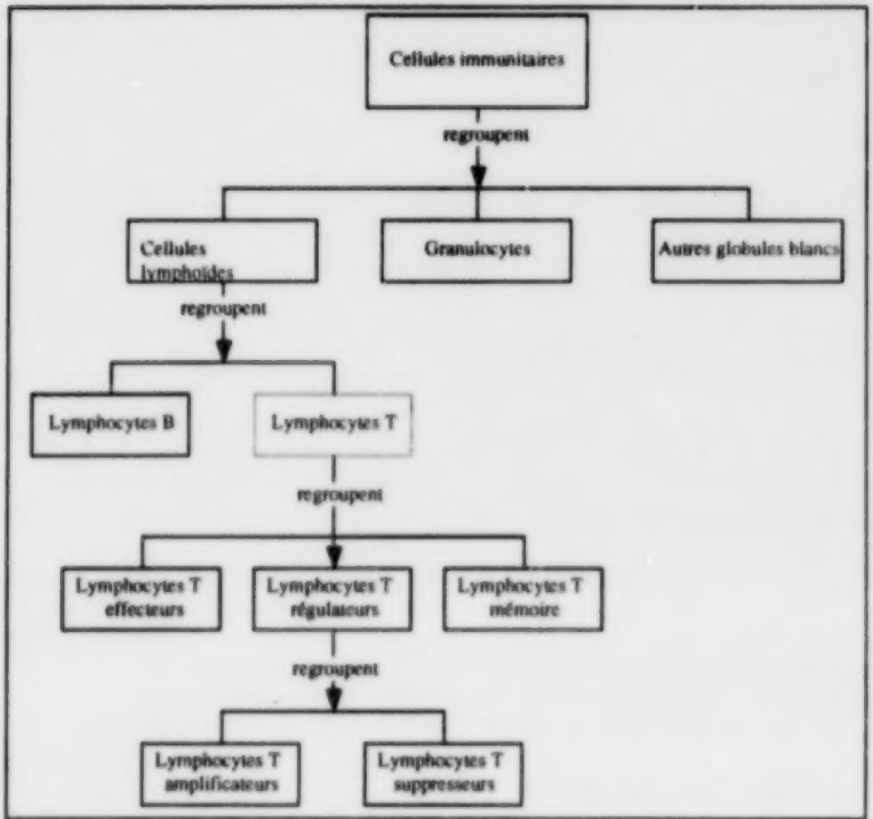

Figure 28

Arbre hiérarchique des lymphocytes.
La séquence apparaissant en pointillé montre que le taxème *lymphocytes T amplificateurs* est maîtrisé.

Maîtrise des actèmes

Un actème est maîtrisé quand un étudiant ou une étudiante réussit à remplir toutes les cases du schème actantiel, c'est-à-dire à identifier correctement tous les *sèmes*.

Les transformations subies par les objets étant très nombreuses au sein d'un domaine particulier, et variant d'un domaine à un autre, on ne peut employer

de vocabulaire restreint pour les désigner. Les verbes servant à les nommer peuvent donc être traités comme des unités sémantiques, au même titre que celles relatives aux agents, aux conditions, aux instruments, etc.

Maîtrise des cartes résolutoires

L'unité d'évaluation d'une carte résolutoire est la proposition. Pour qu'une proposition soit déclarée maîtrisée, il faut que l'étudiant ou l'étudiante trace une relation entre deux concepts pertinents, choisisse un verbe adéquat pour décrire la nature de cette relation et oriente correctement la relation.

Contenu et formes de rétroaction

Le principe qui nous a guidés dans la confection des rétroactions est, qu'en évaluation formative, il n'y a pas d'erreur mais seulement des pas vers la bonne réponse. C'est pourquoi le contenu de la rétroaction ne doit pas se contenter d'indiquer si le seuil de réussite a été atteint. Il se doit aussi d'identifier certains éléments de la bonne réponse.

Ce principe s'applique de façon différente selon les niveaux d'interrogation. Il conduit aussi à plusieurs types de rétroaction: rétroaction immédiate ou retardée, rétroaction textuelle ou graphique, rétroaction commentée ou pseudosommative. Dans le choix de ces formes de rétroaction, nous avons appliqué les règles relevées par Christian Depover et dont nous avons déjà fait état dans la section *Rétroactions et auto-évaluation*.

Rétroaction au niveau empirique

Au niveau empirique, la rétroaction est immédiate et automatique. Elle se compose de trois éléments, à savoir:

- un commentaire sur la réponse;
- un décompte du nombre de tentatives;
- un score du nombre de bonnes réponses.

Le commentaire porte sur la dernière question à laquelle l'élève a répondu. Ce commentaire ne se contente pas de confirmer ou de réfuter la réponse apportée à la question. Il fournit des indications propres à canaliser ou à stimuler les efforts correctifs subséquents. C'est pourquoi nous avons veillé à ne pas traiter la faute d'orthographe comme une faute conceptuelle. De plus, la rétroaction signalera les éléments valables d'une réponse erronée, tout comme elle signalera que l'erreur provient d'une inversion des éléments de la bonne réponse. Tous ces commentaires s'accommodent bien de la forme textuelle.

Le nombre de tentatives pour une question contient une information importante sur son degré de difficulté. Cette information est significative tant pour la personne qui s'auto-évalue que pour celle qui a conçu le domaine. Ce compteur sera maintenu à jour et affiché pour chacune des questions.

Il faut aussi que les étudiants et les étudiantes aient une idée de leur progression dans l'ensemble des questions objectives. Cela pourrait se faire par un score indiquant le nombre de bonnes réponses sur le total.

Rétroaction au niveau hiérarchique

La rétroaction du niveau hiérarchique est intimement liée à la nature des opérations effectuées par la personne essayant d'établir un arbre ou une séquence, d'une part, et par le traitement à effectuer pour vérifier la réponse apportée, d'autre part. Cette rétroaction est déclenchée à la demande des utilisateurs ou des utilisatrices et fait appel au traitement graphique et à l'écrit. On trouve aussi des compteurs indiquant les scores obtenus.

La maîtrise d'une phase ou d'un taxème se manifeste quand l'élève le relie correctement, d'une manière ascendante, au nœud racine. Cela implique que, dans le cas d'un arbre à plusieurs branches, la maîtrise d'un nœud terminal nécessitera la formulation d'une cascade de propositions, chacune d'elle reliant deux unités. Dans ce cas, la rétroaction doit indiquer les pas conduisant dans la bonne direction. Elle doit aussi souligner la validité de chacune des propositions, même si la chaîne n'est pas encore complète.

Prenons l'exemple suivant (figure 29):

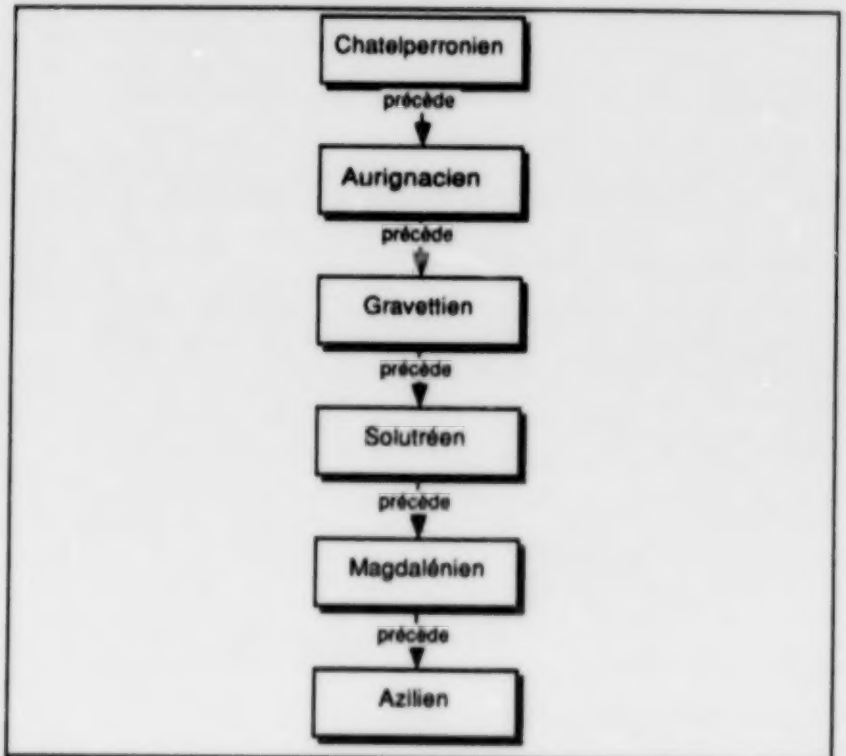

Figure 29

Séquences des périodes de la préhistoire dans la région francocantabrique.

Pour déclarer maîtrisée la phase de l'*Azilien*, il faut que toutes les phases précédentes occupent la bonne place dans la chaîne qui remonte jusqu'au nœud racine *Les périodes préhistoriques francocantabriques*. Mais la rétroaction doit tout de même indiquer, pas à pas, chacune des formulations correctes. Ainsi, si une personne indique que «le *Magdalénien* précède l'*Azilien*», la rétroaction doit lui indiquer la validité de cette formulation, même si, plus haut, le *Magdalénien* n'a pas été correctement relié au *Solutréen*.

Comment imaginer le déclenchement de cette rétroaction? Comme la construction d'un arbre constitue une tâche unitaire, il vaudrait mieux que la rétroaction soit commandée à la demande de la personne qui s'auto-évalue au moment où elle juge avoir fait un effort significatif pour reconstituer la totalité de l'arbre. On évite ainsi l'écueil de la rétroaction immédiate, retournée après chaque formulation, qui risquerait de lasser et de détourner l'attention de la structure de l'arbre.

La rétroaction devrait profiter de l'aspect graphique de l'arbre construit par l'étudiant ou l'étudiante en mettant en évidence les segments valides de sa construction. De plus, puisque chacun de ces segments correspond à une proposition du type «le *Magdalénien* précède l'*Azilien*», il serait opportun de fournir une transcription écrite de l'arbre. Dans une liste de propositions écrites, celles qui sont valides pourraient être mises en évidence graphiquement, par un attribut typographique particulier, par exemple.

Un compteur du nombre de demandes de rétroaction fournirait une idée du degré de difficulté éprouvée lors de la construction d'un arbre. Comme dans le cas des questions objectives, cela constitue une information pertinente pour la personne qui a construit le domaine comme pour celle qui s'auto-évalue.

Un score devrait également permettre de voir le degré de réussite pour l'ensemble des taxèmes ou des phases à placer correctement dans un arbre. Un autre score global pourrait, quant à lui, indiquer le pourcentage de réussite pour tous les taxèmes et toutes les phases, dans l'ensemble des arbres à dessiner. Ces scores seraient remis à jour après chaque demande de rétroaction.

Rétroaction au niveau actantiel

La rétroaction du niveau actantiel présente les mêmes caractéristiques que celle du niveau hiérarchique. Ce n'est que lorsque toutes les cases du schème actantiel sont correctement remplies que l'actème est maîtrisé. Cependant, il faut ici aussi que la rétroaction mette en évidence les éléments valides de la bonne réponse, c'est-à-dire qu'elle doit indiquer quelles sont les cases qui sont bien remplies.

Comme la construction d'un schème actantiel conduit à reconstituer un tout, on imagine mal que la rétroaction se fasse automatiquement après chaque inscription dans une case. Il faut laisser le temps à l'étudiant ou à l'étudiante d'appréhender les relations d'ensemble dans le schème. La rétroaction devrait donc se faire à sa demande.

La structure d'un schème correspond à celle d'une proposition complexe composée d'un maximum de sept *sèmes*: sujet, verbe, complément d'objet direct avant l'action, complément d'objet direct après l'action, complément d'instrument, de but, et de circonstances. Par ailleurs, cette longue proposition peut se scinder facilement. Par un processus que nous avons déjà identifié comme une synecdoque, il est possible de relier chacun de ces sept éléments à tout l'actème en utilisant le verbe approprié tiré du vocabulaire restreint. On pourra ainsi dire que l'agent *cause* ou *favorise* l'actème, et que l'actème *vise* le but ou *utilise* l'instrument. La validité d'une proposition correspond exactement à la validité du contenu de la case correspondante. Par conséquent, la rétroaction au niveau actantiel pourra se faire graphiquement et textuellement. Dans le premier cas, il y aura mise en

évidence des cases bien remplies et, dans le deuxième, soulignement typographique des propositions valides.

L'affichage du nombre de tentatives, c'est-à-dire du nombre de rétroactions demandées, garde la même pertinence à ce niveau-ci qu'aux précédents. Un score servirait également à indiquer le pourcentage de réussite d'un schème et un autre, global, donnerait un indice de la réussite pour tout le niveau actantiel.

Rétroaction au niveau résolutoire

La maîtrise d'une carte résolutoire constitue l'objectif ultime à atteindre au terme d'une auto-évaluation dans un domaine. Puisqu'une carte contient l'ensemble du domaine, constituant ainsi l'aboutissement de son développement, sa maîtrise met un terme au processus d'auto-évaluation. Il va de soi, par conséquent, que la rétroaction à ce niveau se fera proposition par proposition.

La procédure de rétroaction dans un réseau résolutoire s'assimile à celle du réseau hiérarchique. Elle s'obtient aussi à la demande, dans une forme graphique ou textuelle. Le nombre de tentatives, c'est-à-dire de demandes de rétroaction, est mis à jour et affiché de la même manière. Seul le score est différent; puisqu'il n'y a forcément qu'une seule carte par domaine, le score sera calculé à partir des propositions présentes dans cette carte et non pour plusieurs. Cet affichage indiquera donc le nombre de bonnes propositions sur le nombre total de propositions présentes dans la carte.

Rétroaction globale

En plus de retourner une rétroaction propre à chaque niveau, *Copilote* doit aussi fournir à l'utilisateur ou à l'utilisatrice une synthèse de ses performances. Une bonne synthèse contiendrait une image des pourcentages de réussite pour chacun des niveaux avec, en regard, un nombre moyen de tentatives pour chacune des questions par niveau. On tirerait de ce tableau des informations sur le type d'habiletés cognitives le plus souvent utilisées, ou sur celles qui sont le moins bien maîtrisées, ainsi que sur la séquence générale du travail d'un ou d'une élève.

Tableau récapitulatif

Le tableau 7 reprend l'essentiel de ce que nous avons établi quant aux fonctions pédagogiques de notre modèle de représentation des connaissances.

Tableau 7
Caractéristiques générales du modèle de représentation des connaissances.

Niveau	Unité sémantique	Produit demandé	Performances vérifiées	Opérations cognitives	Critères de maîtrise	Unité de rétroaction
Empirique	Concept	Énoncé	Reconnaissance des concepts et identification de leurs attributs Relation d'exemple	Nommer Définir Reconnaître Identifier Mémoriser	Bonne réponse à une question objective	Les bons éléments d'une réponse écrite
Hiérarchique	Taxème/phase	Arbre	Compréhension des rapports d'abstraction, de composition et de séquence	Classer Ordonner Décomposer Généraliser Spécifier	Ascendance d'un taxème jusqu'au nœud racine	Une proposition reliant un nœud à un autre
Actantiel	Actème	Schème	Maîtrise des fonctions remplies par des concepts subissant ou assurant une transformation	Analyser Décrire	L'ensemble des cases de l'actème	Validité du contenu d'une case
Résolutoire	Nœud	Carte	Intégration des connaissances par la maîtrise des rapports des trois niveaux sous-jacents	Inférer Déduire Induire Intégrer Modifier	Validité de toutes les propositions	Validité d'une proposition

Méthode d'analyse de la matière

Le professeur qui désire produire du matériel d'auto-évaluation procède à l'analyse de sa matière en faisant appel au modèle de représentation des connaissances décrit à la section précédente. Il peut alors préparer des questions de niveau empirique, hiérarchique, actantiel ou résolutoire. Il importe de rappeler que dans un domaine, il n'y a pas de connaissances empiriques, hiérarchiques ou actantielles en soi, mais seulement des façons de les traiter. Le concepteur ou la conceptrice d'un domaine doit donc s'engager dans des choix pédagogiques en construisant son matériel. En d'autres termes, il doit décider de la forme sous laquelle seront traitées les connaissances en tenant compte des objectifs du cours et du programme. On ne devrait donc pas s'attendre à des écarts importants d'un enseignant à un autre.

L'analyse d'un domaine s'effectue en plusieurs étapes. Les principales en sont la définition des performances, la réalisation des cartes résolutoires et le développement des nœuds. Nous insistons sur la nécessité que l'analyse soit entreprise à partir du niveau le plus élevé d'intégration des connaissances. Ce point de départ oblige à rester dans une perspective systémique, ce qui permet notamment d'éviter l'atomisation des connaissances.

Définir une performance

L'analyse conduit le professeur à définir un certain nombre de performances. Ces performances traduisent des tâches à accomplir, des problèmes à résoudre et des compétences à utiliser. Il procède par domaine, c'est-à-dire par ensemble de connaissances (un domaine peut être un chapitre ou un autre type d'ensemble structuré de regroupement des connaissances).

Tracer la carte résolutoire

Après avoir défini une performance, le professeur rédige une question de type résolutoire et trace la carte de sa solution. La question se présente sous forme d'un énoncé de problème et la carte contient des nœuds qui sont soit des actèmes, soit des taxèmes, soit des concepts et des relations entre ces nœuds. Les relations sont nommées à l'aide de la typologie des relations. Cette carte servira à vérifier la capacité de l'étudiant ou de l'étudiante à répondre au problème posé. En d'autres termes, la carte construite constitue la preuve finale de la maîtrise du domaine.

Développer les nœuds

Une fois la carte réalisée, le professeur développe les nœuds qu'il désire voir maîtriser préalablement aux niveaux actantiel, hiérarchique et empirique. Il ou elle remplit pour chaque actème un schème actantiel, pour les taxèmes ou les phases, construit un ou plusieurs arbres hiérarchiques et, enfin, pour les concepts à maîtriser au niveau empirique, prépare des questions objectives contenant du texte ou des images.

Exemple d'analyse de matière

Pour illustrer la méthode utilisée dans *Copilote*, nous présentons maintenant un exemple d'une analyse partielle de la matière d'un domaine.

Dans sa planification d'un cours d'archéologie, un professeur détermine une performance significative de la maîtrise du domaine portant sur la civilisation maya. Disons qu'il établit comme performance terminale la capacité de répondre à la question suivante: «Comment s'opposaient les stratégies agricoles de la classe dominante maya à celles de la classe paysanne?»

La première étape consiste à tracer une carte résolutoire (figure 30). L'étape suivante consiste à développer certains nœuds dont la maîtrise préalable à d'autres niveaux paraît nécessaire, aux yeux du concepteur ou de la conceptrice, pour leur utilisation dans la résolution de la question.

Dans cette carte, les nœuds projetant une ombre ont été développés à l'un ou l'autre des niveaux.

Par exemple, le nœud «Augmentation de la productivité humaine» est un nœud condensé d'un actème analysé dans un schème (figure 31).

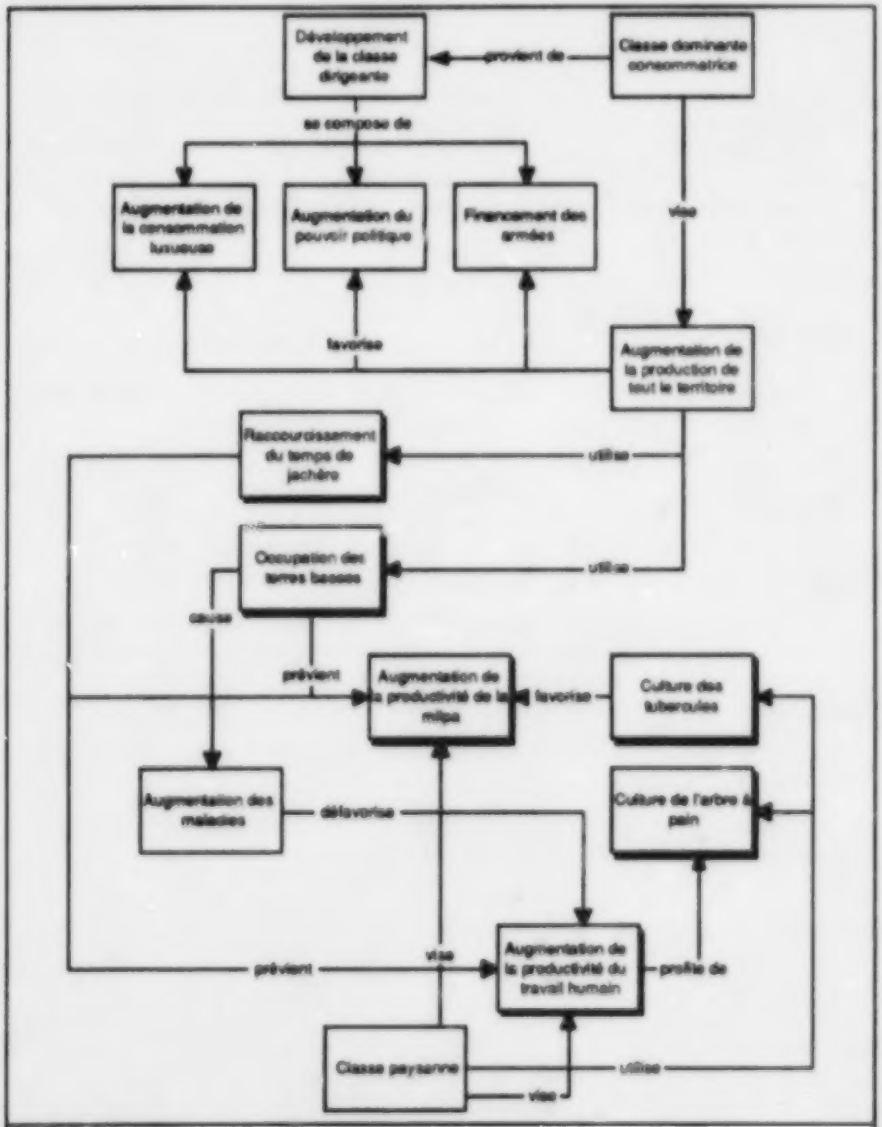

Figure 30

Carte résolutoire de la question «Comment s'opposaient les stratégies agricoles de la classe dominante maya à celles de la classe paysanne»?

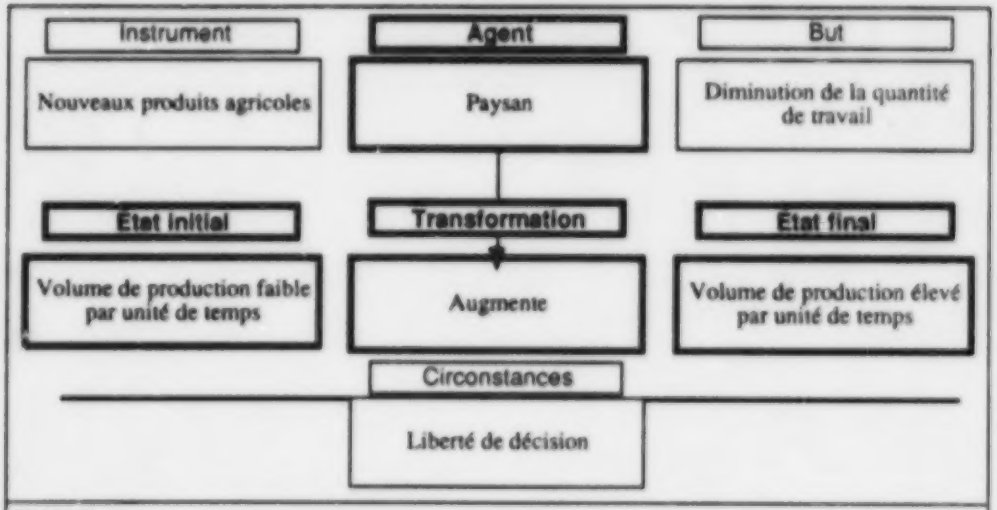

Figure 31

Schème de l'augmentation de la productivité du travail humain.

Par ailleurs, le nœud «Culture des tubercules» renvoie à un taxème représenté dans un arbre (figure 32).

Il se peut qu'un nœud soit développé dans une structure (actème ou arbre) dont un élément renvoie à son tour à un autre niveau. C'est le cas du nœud «Occupation des terres basses», d'abord développé dans un actème dont l'état initial, «Terres basses inondées», se réfère à un taxème dans l'arbre des territoires occupés par les Mayas (figure 33).

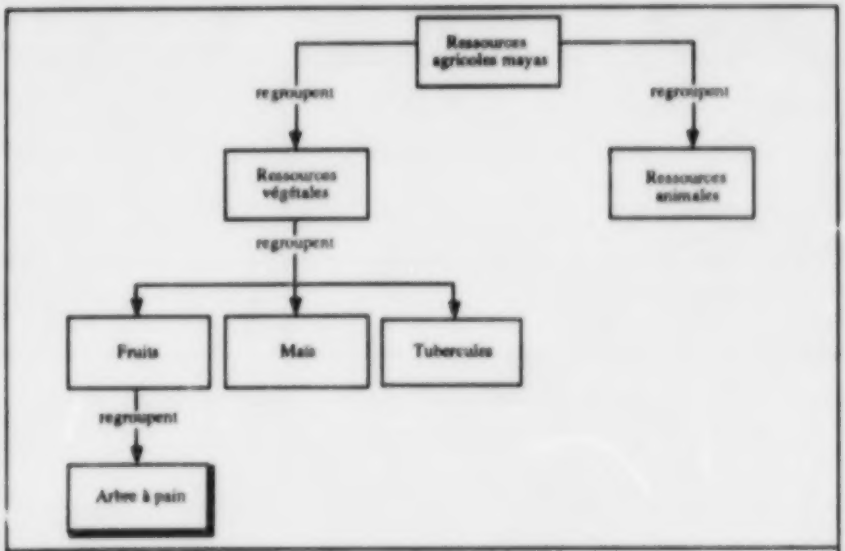

Figure 32

Développement du nœud «Culture des tubercules» en tant que taxème parmi les ressources agricoles végétales des Mayas.

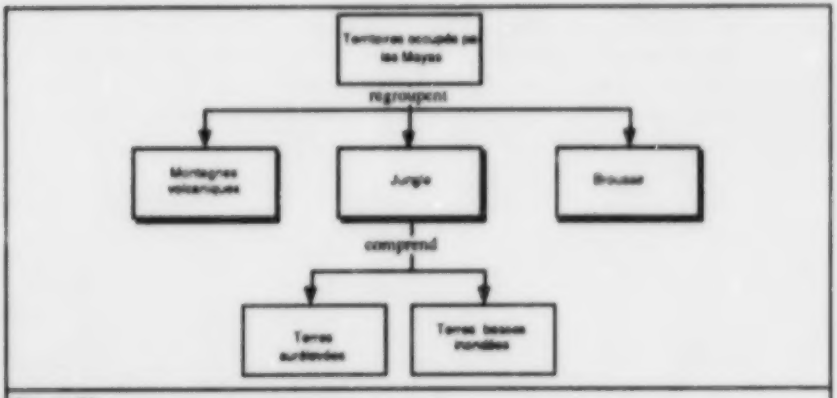

Figure 33

Arbre des territoires occupés par les Mayas.

Dans cette structure, d'autres taxèmes font à leur tour l'objet d'un développement. Par exemple, «Montagnes volcaniques» conduit à la question

objective: «Dans quel pays figurant sur la carte ci-contre se trouvent principalement les montagnes volcaniques peuplées par les Mayas?» L'espace de référence pour cette question contient une carte des territoires mayas (figure 34).

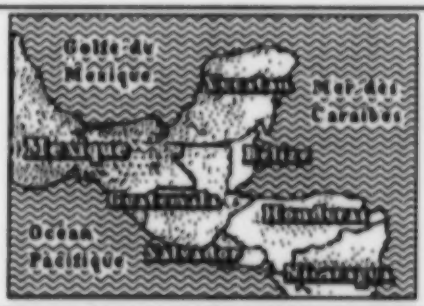

Figure 34

Carte géographique servant de référence à une question empirique sur les territoires occupés par les Mayas.

Par cet exemple, on commence à deviner la complexité potentielle des relations établies entre les concepts, les taxèmes, les actèmes et les nœuds. Cette complexité constitue un atout dans les mains d'un concepteur qui sait bien choisir ses développements et les limiter à ce qui est pertinent dans le cadre de son enseignement.

Devant chaque nœud, le professeur se demande si ses élèves sont en mesure de pouvoir l'utiliser dans la carte résolutoire, sans autre forme d'enseignement. Son expérience et des tests diagnostiques serviront à définir les nœuds qui nécessitent un développement, donc un enseignement complémentaire. Il procède de la sorte pour chacune des unités à tous les niveaux. Cette démarche minutieuse constitue une planification de l'enseignement exceptionnelle au terme de laquelle tous les concepts sont abordés dans le but d'atteindre la performance fixée. Cela se réalise parce que le concept est exploré au niveau correspondant à son importance et aux préalables des élèves et parce que l'accent est mis avant tout sur la pertinence et les relations entre les concepts.

Expérimentation

Introduction

Même si, à proprement parler, nous n'avions pas prévu d'étape d'expérimentation dans le mémoire de présentation de notre recherche, nous nous sommes rendu compte de la nécessité de vérifier au moins sommairement la valeur et l'efficacité du modèle de représentation des connaissances et de la grille d'analyse de la matière que nous avons mis au point.

En effet, nous ne pouvions envisager d'entreprendre la rédaction du devis de production et la production proprement dite de *Copilote* sans vérifier si la méthode développée pouvait effectivement servir à l'analyse de la matière, à la fabrication de matériel visuel de soutien à l'enseignement, à la création de moyens d'apprentissage et à la production de matériel d'évaluation.

Nous avons donc entrepris de mettre *Copilote* à l'épreuve dans le courant de la session Hiver 1991. Reporter d'une session l'échéance de la recherche théorique nous a permis de poursuivre cette expérimentation en même temps que nous approfondissions certains éléments restés en suspens et que nous entamions la rédaction du devis de production proprement dit. Le but de l'expérimentation n'était pas de savoir si cette méthode donnait de meilleurs résultats que d'autres, mais de chercher à mettre en lumière son applicabilité comme outil de planification, de prestation et d'évaluation.

Cadre général de l'expérimentation

Dans le courant la session Hiver 1991, nous avons commencé de planifier notre enseignement à l'aide de la grille d'analyse de la matière. En même temps, l'un d'entre nous appliquait la méthode dans un cours d'anthropologie que suivaient 35 étudiants du programme de Sciences humaines (3e session). L'expérimentation s'est poursuivie cet automne avec deux groupes d'étudiants du programme de Sciences humaines (3e session) inscrits au cours d'anthropologie et avec un groupe d'étudiants de Techniques de diététique inscrits à un cours de microbiologie alimentaire (3e session). Par ailleurs, un des deux chercheurs a présenté la méthode *Copilote* à une vingtaine d'enseignants et d'enseignantes dans le cadre d'une activité du CPE Collégial

PERFORMA[64] au collège d'Ahuntsic et au cégep de Joliette-De Lanaudière. À la fin de l'activité, nous leur avons demandé de répondre à un questionnaire (voir annexe II) afin de mieux cerner leurs réactions sur un certain nombre de points qui touchaient la méthode d'analyse et la représentation des relations.

Synthèse

Des différentes activités d'expérimentation, il ressort que la méthode est utilisable, qu'elle atteint les objectifs fixés mais qu'elle est exigeante pour les enseignants et les enseignantes qui l'utilisent pour la première fois. À la suite de leurs commentaires, nous avons envisagé quelques aménagements qui assoupliraient le fonctionnement de *Copilote*, rendant moins lourde l'utilisation du logiciel, surtout en période d'implantation.

64 APP - 118. *Le schéma de concept: instrument cognitiviste pour l'enseignement et l'apprentissage.*

Champs d'application de la méthode

Cette section traite successivement des résultats de l'expérimentation entreprise par les chercheurs, d'une part, et par les enseignants et les enseignantes des collèges dans lesquels s'est donnée l'activité, d'autre part. Cette expérimentation portait sur la méthode *Copilote* en tant qu'outil d'analyse de la matière, de production de médias visuels et d'exercice d'évaluation formative et en tant que modèle de prise de notes ou de résumé de texte.

Analyse de la matière

La méthode a d'abord été utilisée par les chercheurs pour procéder à l'analyse de la matière de plusieurs chapitres de deux cours qu'ils enseignaient. La méthode a aussi été utilisée par les enseignantes et les enseignants inscrits à l'activité de perfectionnement mentionné plus haut. Ces collègues ont surtout utilisé *Copilote* comme instrument d'analyse de la matière. Dans un cours d'archéologie[65] (381-901) donné aux sessions d'hiver et d'automne 1991, elle a servi à décomposer des éléments de matière préalable à une prestation portant sur une douzaine de domaines.

De plus, le cours de microbiologie et d'immunologie générales (101-904) a fait l'objet d'une analyse extensive de la plupart des domaines. Dans un premier temps, l'ensemble du contenu du cours a été représenté sous forme de schémas de concepts. Cette partie de l'analyse a permis de repérer un certain nombre de distorsions dans la planification et surtout dans la séquence des domaines. À l'issue de cette étape, on a jeté les bases d'une approche plus intégrée de la matière et repensé l'ordre de présentation des préalables.

Dans l'ensemble, les enseignants et les enseignantes qui ont répondu au questionnaire trouvent dans *Copilote* un instrument d'analyse de la matière pertinent et efficace. Les types de connaissances répondent bien aux besoins, ce qui n'est pas toujours le cas de certaines relations et du vocabulaire utilisé que l'on juge parfois insuffisant pour décrire la complexité de la matière enseignée. Il faut noter que le vocabulaire dont ils disposaient alors ne contenait pas tous les antonymes ni toutes les réciproques; de plus, il n'offrait pas de synonymes.

---

65 Un exemple de cette analyse a été présenté au point «Méthode d'analyse de la matière».

Production de médias visuels

Des schèmes et des arbres produits lors de l'analyse de la matière ont été récupérés et présentés tels quels en classe au moment de la prestation. Un des deux chercheurs profitait alors d'un ordinateur muni d'une acétate électronique projetant les représentations graphiques produites par des logiciels de diagrammes (les principaux sont présentés dans la section «Produits existants et inventaire critique des outils de développement»). D'autres arbres et d'autres schèmes ont été produits sur des feuilles d'acétate conventionnelles, tant par les chercheurs eux-mêmes que par les collègues qui suivaient l'activité PERFORMA.

Voici, ci-après (figure 35), un exemple d'acétate montrant un réseau réalisé au cours de l'étape de planification de la matière et qui fut utilisé tel quel au moment de la prestation.

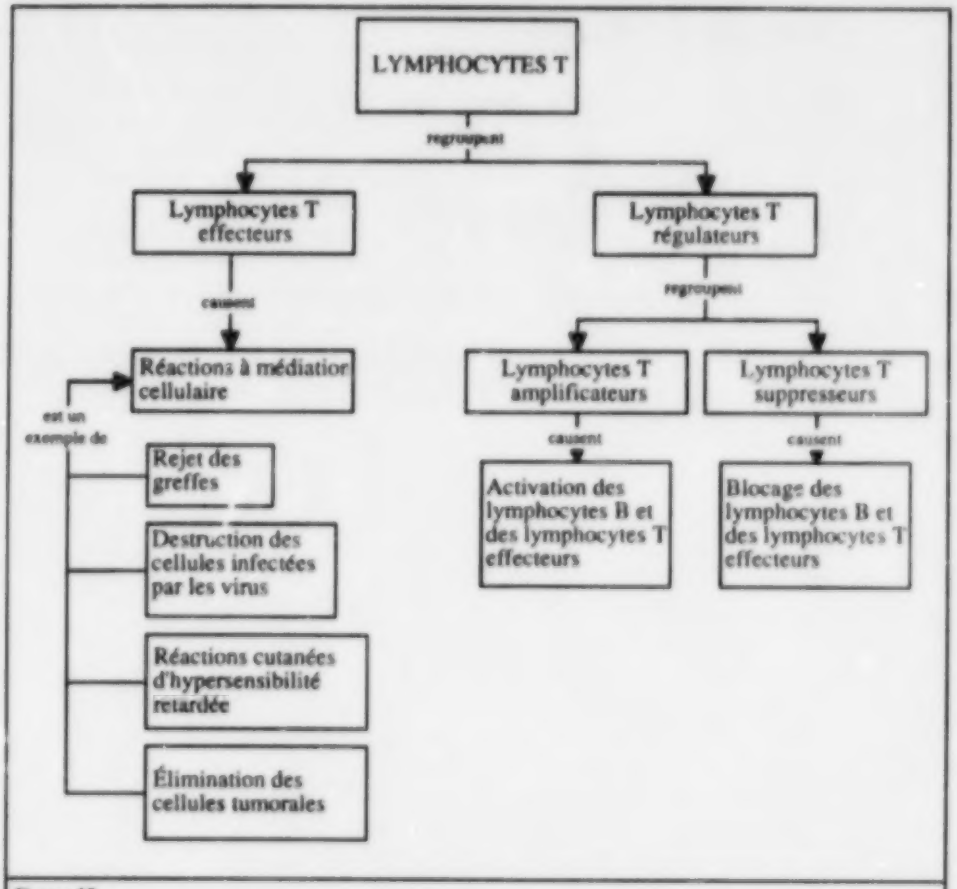

Figure 35

Exemple d'acétate produit au cours du processus d'analyse de la matière.

Exercices d'évaluation formative en classe

En classe, nous avons utilisé les principes de la méthode pour bâtir des exercices d'évaluation formative permettant de vérifier la maîtrise d'habiletés cognitives associées aux niveaux hiérarchique, actantiel et résolutoire. Au niveau hiérarchique, les étudiants et les étudiantes avaient pour consigne soit

de construire un arbre hiérarchique à partir d'une liste de concepts qui leur était fournie, soit de résumer sous forme d'arbres ou de cartes une partie de l'exposé qui leur avait été présenté. La figure 36 est un exemple de réseaux demandé aux étudiants et aux étudiants pour leur permettre de faire le point de leurs connaissances à l'issue d'un exposé théorique.

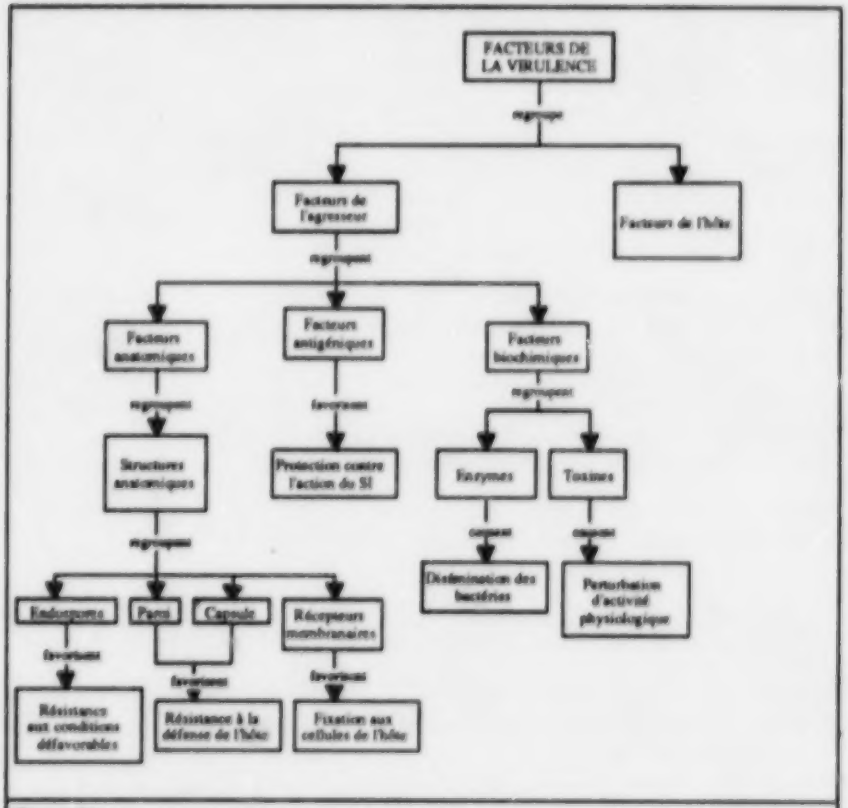

Figure 36

Exemple d'exercice d'évaluation formative produit par un étudiant à la fin d'un cours théorique.

Au niveau actantiel, on projetait au tableau noir un schème actantiel vide reproduit sur une feuille d'acétate conventionnelle. On demandait ensuite à quelques étudiants ou étudiantes de venir remplir, à la craie, les cases d'une transformation qu'on venait d'expliquer. Ensuite, ces schèmes étaient corrigés par les professeurs et les élèves.

De tous les niveaux de la méthode, c'est le niveau résolutoire qui fut le moins travaillé en classe par les chercheurs comme par les enseignants et les enseignantes qui ont participé à l'expérimentation. Ce travail demande plus de temps, exige un effort de synthèse qu'il n'est pas toujours possible d'effectuer en classe.

Modèle de prise de notes

L'application de la méthode *Copilote* a aussi servi aux étudiants pour prendre des notes. À plusieurs reprises, dans le cours d'anthropologie, un des chercheurs a suggéré de recourir au mode approprié de représentation des connaissances transmises dans le cours pour la prise de notes. Il procédait ensuite à une vérification *in situ* avec correctifs appropriés.

Une expérience similaire a été faite à l'hiver 90 dans le cours 101-904. Dans ce cas, la prise de notes sous forme graphique s'est d'abord faite à partir de réseaux mis sur acétates ou réalisés au tableau à mesure qu'avançait l'exposé. Plus tard, on a tenté de laisser aux étudiantes et aux étudiants le soin de construire eux-mêmes leur réseau à mesure que se déroulait l'exposé. Cette forme d'expérimentation s'est révélée plus difficile, les élèves ayant eu quelques difficultés à structurer la matière à mesure qu'ils la saisissaient.

Par ailleurs, cette application a aussi été mise en œuvre par les collègues qui expérimentaient la méthode dans le cadre de leur cours PERFORMA.

Modèle de résumé de texte

Tout au long de la session Automne 1991, la réalisation de résumés de texte a été largement utilisée par un des chercheurs et par les collègues du PERFORMA.

Les élèves inscrits au cours d'anthropologie devaient lire un livre et en tirer des informations qui leur paraissaient intéressantes. La présentation de ces informations devait se faire en retenant la représentation la mieux adaptée au type de connaissances retenues: énoncés pour des faits empiriques, arbres pour des ensembles hiérarchisés ou schèmes pour des processus de transformation. Les étudiants et les étudiantes ont remis au cours de la session quatre résumés, contenant chacun neuf représentations distinctes.

Instrument d'évaluation

Nous avons utilisé la méthode *Copilote* pour fabriquer plusieurs examens. Chaque examen comprenait une série de questions objectives, pour traiter du savoir empirique, des arbres à dessiner ou à compléter pour les classifications ou les mises en séquence et, pour quelques-uns, des schèmes actantiels à compléter pour décortiquer des processus et une carte résolutoire à composer, à compléter ou à corriger pour traiter d'un problème de synthèse.

Son utilisation a des répercussions considérables au moment de la correction, en particulier pour les cartes. Par rapport à une réponse écrite où le professeur s'égare souvent, surtout dans les copies faibles, la réponse cartographiée procure au correcteur une image nette des points forts et des points faibles. En quelque sorte, cette carte joue le rôle d'une radiographie qui ne ment pas sur la structure interne du sujet.

À titre d'exemple, comparons la copie d'une étudiante qui a particulièrement bien réussie la question à développement du dernier examen (figure 37) avec celle d'une réponse très faible (figure 38). La question se lisait ainsi[66] :

> «Discutez de la chute de la civilisation maya à l'aide des concepts suivants:
> • l'invasion des Toltèques;
> • l'épuisement des sols;
> • l'absence de direction centrale;
> • l'exploitation de terres peu productives;
> • l'augmentation des maladies;
> • la diminution de la productivité du travail humain;
> • la diminution de la productivité de la surface cultivée;
> • l'augmentation des besoins de la classe dominante;
> • le soutien d'une armée;
> • le développement des réseaux commerciaux.»

---

66 Bien que les élèves aient eu accès à tous les nœuds nécessaires à la résolution de cette question, ils n'avaient jamais eu l'occasion d'y répondre auparavant et le professeur n'avait jamais présenté une réponse à cette question comme telle. Par ailleurs, la carte résolutoire présentée plus haut sur l'opposition entre les stratégies agricoles de la classe dominante et celles de la classe paysanne n'avait été construite en classe.

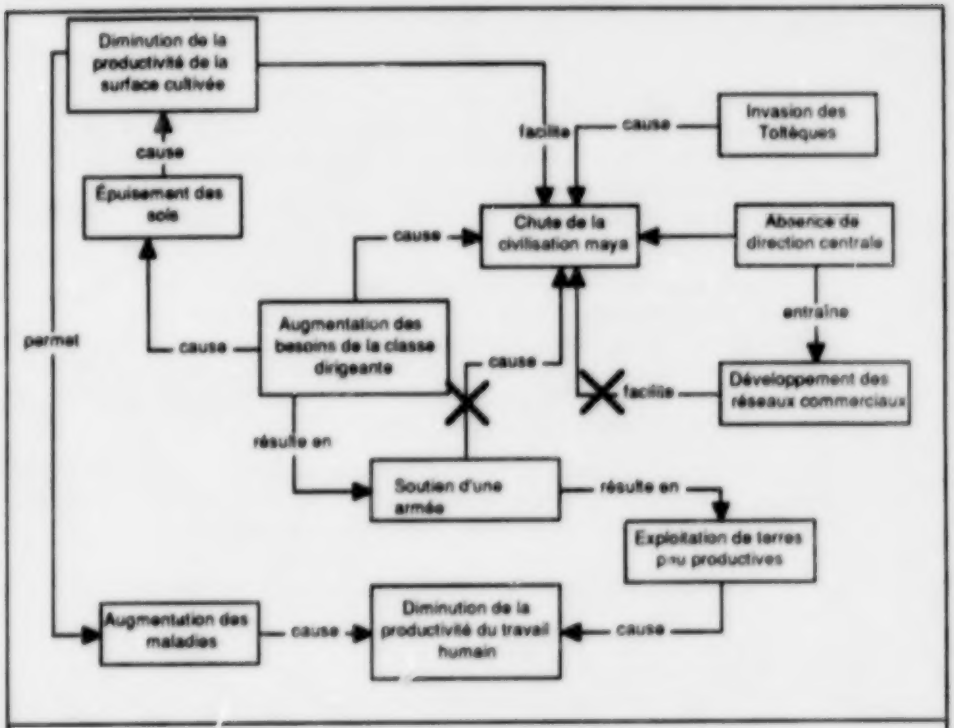

Figure 37

Carte résolutoire composée par une étudiante sur le thème «La chute de la civilisation maya.» Les liens marqués d'un «X» sont erronés[67].

67 Il faut noter que le vocabulaire des relations utilisé dans la réponse se distingue de celui qui est présenté ici. Celui qui a été proposé aux élèves correspond à notre position au mois de janvier 1991. Pour ne pas confondre les étudiants, nous n'avons pas dérogé à ce qui leur a été enseigné au départ, même si notre recherche nous avait menés dans d'autres directions.

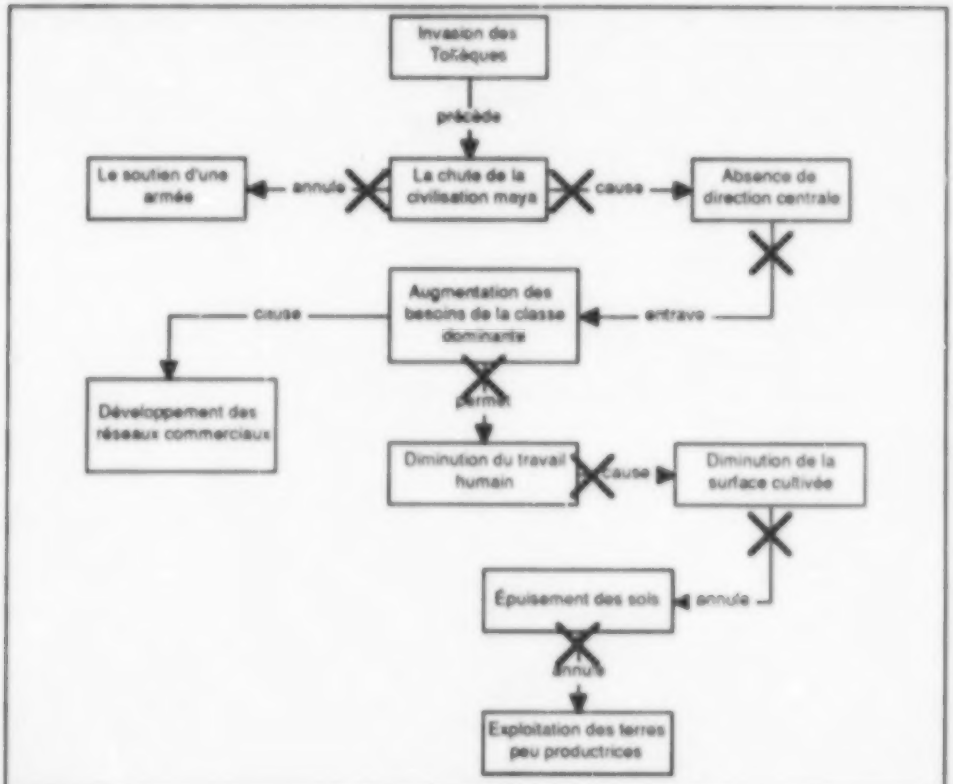

Figure 38

Carte résolutoire composée par un étudiant sur le thème «La chute de la civilisation maya.» Les liens marqués d'un «X» sont erronés.

Comme on peut le constater par cette comparaison, les différences entre les deux réponses sont flagrantes. Chacune des propositions est évaluée à partir de ses composantes: les nœuds reliés, la nature du lien et la direction du lien. À la vue de chacune d'ent. e elles, le professeur se demande si, à la suite de son enseignement (cours, lectures, conférences, films, etc.), la proposition pouvait être formulée.

Pour bien comprendre la différence qui existe entre une évaluation sommative, dont proviennent les exemples présentés ici, et une évaluation formative, il faut rappeler que la construction d'une carte résolutoire est affaire de point de vue et de contexte. Il faut donc s'attendre à ce que les

élèves ne produisent pas tous la même carte et que la meilleure d'entre elles ne soit pas une réplique de celle du professeur[68].

Par ailleurs, une analyse sommaire des résultats de ces examens contenant des questions de niveau empirique (questions objectives), de niveau hiérarchique (arbre hiérarchique) et de niveau actantiel (actème à construire) a permis de montrer que la capacité des élèves à répondre aux questions traitant les connaissances aux niveaux résolutoire, actantiel et hiérarchique était en étroite relation avec le score obtenu dans la section de l'examen traitant des connaissances au plan empirique.

À un autre niveau, il est intéressant de noter que la majorité des étudiants soumis à l'expérimentation dans le cadre du cours d'anthropologie ne souhaitaient pas revenir aux formes conventionnelles d'examens que nous utilisions avant d'entreprendre cette recherche.

---

68 Toujours dans le contexte où une carte résolutoire est créée et non apprise.

Commentaires sur la méthode

Les commentaires sur la méthode proviennent de l'analyse des résultats de l'expérimentation des deux chercheurs et des réponses au questionnaire passé aux collègues qui suivaient le cours PERFORMA sur la schématisation.

De l'expérimentation entreprise dans le courant de 1991, se dégagent six grandes constatations à l'égard de la méthode *Copilote* et de l'intérêt manifesté par les répondants et les répondantes.

Première constatation

La planification de l'enseignement et la prestation deviennent plus faciles et plus cohérentes. Après l'exercice d'analyse, le professeur connaît la fonction de chacun des concepts qu'il aborde. Il en connaît l'importance relative, eu égard à l'objectif de performance qu'il vise à faire atteindre. Il peut donc s'attarder à approfondir ceux qui jouent un rôle important et se contenter d'effleurer ceux qui n'ont qu'un rôle accessoire. De plus, il aborde chacun des concepts selon le mode de traitement qui convient à la place qu'il occupe dans le domaine. Enfin, la prestation ramène en classe l'importance accordée au cours de l'analyse à la mise en évidence des liens. C'est ainsi que les enseignants et les enseignantes affirment:

> « Personnellement, je suis satisfait des réseaux de concepts. C'est une bonne façon de préparer la matière à présenter...»
>
> «Il me semble que mon cours a été mieux préparé et structuré. C'est une bonne méthode pour faire des choix éclairés quant à la matière à retenir pour un cours et à la façon de l'organiser...»

La méthode d'analyse demande un effort non négligeable aux élèves, mais elle n'est pas sans retombées ni satisfactions. Voici ce que dit une enseignante qui répondait au questionnaire:

> «C'est amusant et éclairant de voir les étudiants faire des liens combinés, construire, manifester leur compréhension de la réversibilité ou non d'un lien: on *sent la pensée formelle vibrer, flotter, dans la classe...*»

Par ailleurs, les enseignantes et les enseignants interrogés trouvent qu'en regard d'une présentation écrite, la schématisation proposée par notre méthode dans la planification, la prestation et dans l'évaluation s'avère pertinente. À ce propos, voici quelques commentaires tirés du questionnaire.

> «(Pour la planification) Cela permet d'être mieux préparé avant d'aller en classe. Le choix du découpage de la matière se fait d'une façon plus éclairée.

(Pour la prestation) La matière est présentée de façon plus structurée aux étudiants. Cela devrait leur faciliter la prise de notes et la compréhension.

«(Pour la planification) Je la préfère à la présentation écrite parce que je ne me perds pas dans des textes lorsque j'ai des cours à donner. Mes notes sont toutes schématisées...
(Pour la prestation) Les deux se complètent. La schématisation constitue le squelette et le texte, la chair. Un étudiant qui maîtrise cette méthode apprivoise mieux un texte écrit.
(Pour l'évaluation) Pour un certain temps, je vais utiliser les deux modes pour vérifier une acquisition de connaissances. Je ne peux porter de jugement.»

Deuxième constatation

La méthode s'adapte facilement aux matières enseignées par les professeurs qui l'ont expérimentée. Pour les réponses qui ne se limitent pas au simple «oui», on a toutefois noté quelques réserves:

«Oui, quoique j'ai de la difficulté à trouver des applications pour les schémas actantiels. Ce type de schémas me semble être utile pour définir des processus plus linéaires. Je me sens plus à l'aise avec la carte résolutoire qui me permet plus de latitude "systémique".»

«En partie, oui. Enseignant la philosophie, je vois dans l'utilisation de schémas de concepts par moi-même et par les étudiants et étudiantes un moyen de préciser la pensée d'un auteur, de préciser sa pensée personnelle et d'établir des rapports entre sa pensée personnelle et celle d'un auteur.»

Dans notre questionnaire, nous avons aussi cherché à savoir si la méthode *Copilote* laissait dans l'ombre des types particuliers de connaissances ou d'habiletés. Comme on en jugera par les réponses suivantes, les réactions sont mitigées:

«Il ne me semble pas (qu'elle laisse dans l'ombre certaines connaissances ou habiletés). Au contraire, elle permet, si je compare à la façon dont j'enseignais il n'y a pas si longtemps, de développer des habiletés de solution de problème. Également, elle donne une méthode, un cadre pour la plupart des liens logiques pouvant être faits.»

«Elle laisse dans l'ombre l'habileté de *lire*. Un schéma n'est pas un texte écrit. Les étudiants ou les étudiantes qui lisent peu ou qui ont des lacunes quant à la lecture ne corrigent pas ces lacunes par le schéma. Toutefois, elle permet de prendre conscience de la rigueur et de la clarté d'un texte.»

Troisième constatation

La production de médias visuels d'enseignement constitue une retombée non négligeable. L'investissement de temps exigé par l'analyse retourne des dividendes quand le produit de l'analyse sert d'outil de prestation. La méthode permet donc d'intégrer la préparation et la prestation, tant au niveau du contenu que des médias. Le questionnaire nous a permis de recueillir quelques informations sur l'intégration des opérations d'analyse, de production de matériel et de prestation faites par des collègues. Voici ce qu'en dit l'un d'eux qui utilisait le logiciel Hypercard pour produire des schémas de concepts en même temps qu'il effectuait les opérations de planification:

> «Pour la prestation, je dirai que le travail a été simplifié. Je n'avais qu'à faire dérouler la pile Hypercard et le réseau se construisait au fur et à mesure. Je pouvais commenter librement. Comme j'ai deux groupes d'élèves, je pense que l'investissement en temps pour la préparation a été rentabilisé au moment de la prestation. De plus, je pourrai utiliser ce schéma les années prochaines.

Quatrième constatation

Les étudiants et les étudiantes peuvent utiliser la méthode *Copilote* pour enregistrer leur saisie d'informations, soit en classe, au moment de la prise de notes, soit, par eux-mêmes, pendant la lecture ou l'étude. Plusieurs enseignants et enseignantes ont appliqué notre méthode à des exercices de compréhension et de synthèse en demandant à leurs élèves de produire des résumés. Ces expériences ont eu lieu dans des cours d'anthropologie, de science politique et de psychologie.

Les résultats varient d'une expérience à une autre: nous avons observé d'excellents résumés de lecture tandis que d'autres montraient des lacunes plus ou moins graves. C'est sans trop de surprise que nous avons constaté que les meilleurs étudiants semblaient s'être approprié la méthode sans difficultés et avaient adopté rapidement les principes de la schématisation pour prendre leurs notes de cours, résumer leurs lectures ou pour réviser leurs examens dans les matières que nous leur enseignions et dans d'autres, ce qui confirment les observations effectuées par d'autres enseignants qui font appel à la schématisation. À l'heure actuelle, il ne nous est pas possible de dire si les résultats des plus faibles indiquent une difficulté à s'approprier la technique de représentation graphique, leur difficulté à effectuer certaines opérations mentales, ou reflètent, tout simplement, l'effort réellement fourni.

Par ailleurs, une des enseignantes qui a répondu au questionnaire avait interrogé ses élèves sur leur perception des réseaux comme outil de travail pour effectuer des résumés de lecture. Ces élèves ont répondu que l'exercice était difficile et exigeant, mais qu'il était malgré tout utile. Plus de 60 % ont

trouvé la méthode intéressante et comptait se l'approprier malgré les difficultés qu'elle représentait.

Cinquième constatation

La méthode permet de fabriquer des outils d'évaluation fiables. Les élèves ont rapidement compris les modes de représentation et les ont facilement acceptés comme instruments d'évaluation formative et sommative. À preuve, au moment du dernier examen, un des chercheurs a proposé de revenir à une forme standard d'examen (avec questions objectives et une question à développement au choix). Mais 22 des 24 personnes ont affirmé qu'elles préféraient conserver la forme nouvelle d'examen (questions objectives, arbres, schèmes et cartes à dessiner).

Une des enseignantes qui a répondu au questionnaire fait aussi état de l'impact de la méthode sur le travail de préparation des élèves avant les évaluations:

> « J'ai expérimenté la présentation d'un schéma de concept en vue d'un examen impliquant une dissertation. Les élèves ont eu 15 jours pour préparer un schéma en fonction de trois choix possibles. Ils pouvaient me rencontrer pour discuter de leur schéma ou des difficultés rencontrées dans la production de leur schéma. Eux qui habituellement ne viennent que rarement discuter de leurs problèmes sont venus nombreux, montrant l'impact positif des schémas quant à la préparation d'un examen.»

De leur côté les enseignantes et les enseignants trouvent des avantages, ainsi que des inconvénients, à se servir de la méthode *Copilote*, notamment par rapport à une banque de questions conventionnelles.

> «La méthode permet de mesurer l'habileté de l'étudiant à faire des liens, ce que nos questions subjectives traditionnelles ne mesurent pas toujours.» En revanche, «elle laisse place à une certaine subjectivité» (quant à l'évaluation de la pertinence de ces liens?).
>
> «Mieux repérer où l'étudiant n'a pas compris. Repérer où il y a une faille dans son raisonnement. Repérer où il y a une faille dans mon enseignement. Cela mesure certainement mieux la compréhension des étudiants que les questions objectives. Il y a moins de chances de "brûler" les questions avec le temps.»
>
> «Les avantages seraient au niveau de l'obligation d'identifier précisément les mots-liens unissant les nœuds... Nous pouvons vérifier facilement le niveau de compréhension des élèves. Les désavantages seraient dans l'obligation que j'aurais d'indiquer clairement les limites de la présentation d'un schéma de concepts.»
>
> «La méthode facilite l'élaboration des évaluations; elle peut être enrichie progressivement. Elle demande un travail d'entretien qui peut être long et être mis de côté.»

Sixième constatation

La méthode *Copilote* est utilisable en dehors de tout contexte informatique. Toutes les expériences réalisées jusqu'ici l'ont été en dehors de ce contexte. Ce qui démontre bien l'intérêt et la praticabilité de la méthode. Mais il ne faudrait pas pour autant en conclure à l'inutilité de faire appel à l'informatisation. En effet, celle-ci nous paraît indispensable à l'analyse d'un domaine, à fortiori à l'ensemble des domaines réunis dans un cours, et surtout pour assurer le développement des unités de connaissances aux niveaux inférieurs ainsi qu'à la gestion de ce développement. Par ailleurs, au plan de l'évaluation formative, nous ne voyons pas comment l'on pourrait établir une récursivité adéquate en dehors de l'environnement informatique. De plus, à la longue, l'informatisation est toujours synonyme de gain de temps.

En plus de se montrer intéressés à expérimenter et à valider le didactitiel prototype *Copilote*, les enseignantes et les enseignants interrogés nous ont fait part de nombreux autres commentaires soit en répondant au questionnaire, soit à l'occasion des travaux qu'ils ont remis dans le cours PERFORMA. Ces commentaires concernent des points dont nous n'avons pas fait mention jusqu'ici. Ils ont aussi suggérés quelques modifications qui permettraient d'assouplir le fonctionnement de *Copilote*. Ces commentaires ne pouvaient arriver plus à propos, au moment où nous achevons le design informatique du logiciel.

Un premier bloc de commentaires recueillis traitent de la question de la typologie des relations et du vocabulaire que nous avons proposé pour décrire ces relations. Les commentaires vont du positif au négatif et révèlent une certaine hésitation, voire une certaine réticence à fonctionner dans un système fermé de relation. À la question «La typologie des relations proposée vous paraît-elle suffisamment claire et complète pour traduire votre pensée dans un réseau?», les enseignants et les enseignantes ont répondu:

> «Oui, pour le moment.»
>
> «Je dirai que pour l'instant elle m'apparaît impliquer un niveau de complexité suffisamment grand pour que je ne veuille pas me risquer, dans l'immédiat du moins, à l'utiliser de façon complète.»
>
> «Pour un premier contact, je crois que dans l'expérimentation faite, le libre choix des relations s'imposerait.»

Pour ce qui est de la pertinence du vocabulaire des relations, les réponses sont très variables. Pour les uns, le vocabulaire proposé convient bien; d'autres mentionnent qu'ils se sentent mal à l'aise dans une typologie stricte et un vocabulaire fermé.

Dans le courant de la session Automne 1991, nous avons nous-mêmes entrepris de mettre à l'épreuve la typologie des relations que nous avions construite et le vocabulaire restreint servant à décrire ces relations. Nous

Sixième constatation

La méthode *Copilote* est utilisable en dehors de tout contexte informatique. Toutes les expériences réalisées jusqu'ici l'ont été en dehors de ce contexte. Ce qui démontre bien l'intérêt et la praticabilité de la méthode. Mais il ne faudrait pas pour autant en conclure à l'inutilité de faire appel à l'informatisation. En effet, celle-ci nous paraît indispensable à l'analyse d'un domaine, à fortiori à l'ensemble des domaines réunis dans un cours, et surtout pour assurer le développement des unités de connaissances aux niveaux inférieurs ainsi qu'à la gestion de ce développement. Par ailleurs, au plan de l'évaluation formative, nous ne voyons pas comment l'on pourrait établir une récursivité adéquate en dehors de l'environnement informatique. De plus, à la longue, l'informatisation est toujours synonyme de gain de temps.

En plus de se montrer intéressés à expérimenter et à valider le didactitiel prototype *Copilote*, les enseignantes et les enseignants interrogés nous ont fait part de nombreux autres commentaires soit en répondant au questionnaire, soit à l'occasion des travaux qu'ils ont remis dans le cours PERFORMA. Ces commentaires concernent des points dont nous n'avons pas fait mention jusqu'ici. Ils ont aussi suggérés quelques modifications qui permettraient d'assouplir le fonctionnement de *Copilote*. Ces commentaires ne pouvaient arriver plus à propos, au moment où nous achevons le design informatique du logiciel.

Un premier bloc de commentaires recueillis traitent de la question de la typologie des relations et du vocabulaire que nous avons proposé pour décrire ces relations. Les commentaires vont du positif au négatif et révèlent une certaine hésitation, voire une certaine réticence à fonctionner dans un système fermé de relation. À la question «La typologie des relations proposée vous paraît-elle suffisamment claire et complète pour traduire votre pensée dans un réseau?», les enseignants et les enseignantes ont répondu:

> «Oui, pour le moment.»
>
> «Je dirai que pour l'instant elle m'apparaît impliquer un niveau de complexité suffisamment grand pour que je ne veuille pas me risquer, dans l'immédiat du moins, à l'utiliser de façon complète.»
>
> «Pour un premier contact, je crois que dans l'expérimentation faite, le libre choix des relations s'imposerait.»

Pour ce qui est de la pertinence du vocabulaire des relations, les réponses sont très variables. Pour les uns, le vocabulaire proposé convient bien; d'autres mentionnent qu'ils se sentent mal à l'aise dans une typologie stricte et un vocabulaire fermé.

Dans le courant de la session Automne 1991, nous avons nous-mêmes entrepris de mettre à l'épreuve la typologie des relations que nous avions construite et le vocabulaire restreint servant à décrire ces relations. Nous

avons alors constaté la difficulté de certains étudiants à entrer dans le moule, à accepter une méthode rigoureuse d'analyse de leurs connaissances en même temps que d'autres trouvaient plus commode et plus «sécurisant» de pouvoir faire appel à un vocabulaire restreint.

Dans un autre ordre d'idées, nous voulions savoir aussi comment les enseignants et les enseignantes réagissaient à la nécessité de procéder à l'analyse d'un domaine de façon intégrée. Nous avions donc posé la question suivante: «La méthode prévoit de procéder à l'analyse de façon intégrée, c'est-à-dire en commençant par le niveau résolutoire, et en développant le contenu des autres nœuds, niveau par niveau. La méthode permet aussi de procéder à l'analyse d'une façon spontanée, sans viser une totale intégration des nœuds développés. Quelle approche avez-vous utilisée et pourquoi?»

Là encore, les réponses obtenues varient largement d'une personne à une autre:

> «J'ai utilisé une démarche qui s'approche plutôt de la première approche. Si j'ai procédé de cette façon, c'est que cela me semble une meilleure manière de structurer, d'organiser la matière. Même si cela peut prendre du temps avant d'en arriver à une carte résolutoire qui nous semble être une bonne organisation de la matière; une fois cette carte tracée, je dirais que la matière est mieux structurée et je pense alors passer au contenu des nœuds.»

> «J'ai utilisé l'analyse de façon spontanée. Je voulais vérifier dans un premier temps comment les élèves allaient élaborer leur schéma de concepts. Je ne voulais pas, d'autre part, que l'utilisation de cette méthode paraisse trop complexe ou qu'elle soit perçue comme une épreuve. Je voulais un moyen simple d'améliorer l'écriture ou la compréhension d'une production écrite.»

Assouplissements

Tous ces commentaires nous ont amenés à envisager deux assouplissements importants dans le fonctionnement du logiciel. Le premier concerne le développement, le second la formulation des relations.

Nous tiendrons compte que certains enseignants et certaines enseignantes souhaitent que l'analyse d'un domaine ne se fasse pas obligatoirement de façon intégrée et n'implique pas une totale intégration des nœuds développés. *Copilote* fonctionnera donc aussi par niveaux indépendants. Autrement dit, le logiciel pourra produire une série de questions objectives, une série d'arbres hiérarchiques, une série de schèmes actantiels ou une carte résolutoire sans que les actèmes ou les taxèmes soient respectivement développés dans les différents niveaux sous-jacents. Même si cela va à l'encontre de certains principes fondamentaux de *Copilote*, nous croyons important de faire cette concession aux personnes qui commenceront d'utiliser le logiciel en regard du

travail qu'exigent l'analyse et le développement complets de tout un domaine de connaissances. Toutefois, nous espérons que les utilisateurs et les utilisatrices de *Copilote* sauront reconnaître l'intérêt d'un traitement intégré des connaissances en évaluation formative et faire de *Copilote* ce pour quoi il a été conçu.

Nous avons aussi décidé de retenir la requête faite par les enseignants et les enseignantes eu égard au niveau auquel ils désirent traiter les relations. En effet, certains d'entre eux préfèrent avoir la possibilité de choisir de ne pas dépasser le niveau de la classe des relations actantielles. Autrement dit, il ne serait pas toujours nécessaire de faire appel au vocabulaire décrivant les relations au niveau le plus précis, c'est-à-dire au niveau de la sous-classe. Seul apparaîtrait le vocable général décrivant la classe à laquelle appartient la relation mise en évidence.

Conclusion

Aussi sommaire soit-elle, l'expérimentation que nous avons entreprise a montré que la méthode était exigeante mais applicable et qu'elle était perçue favorablement, dans l'ensemble, tant par les enseignants que par les élèves qui l'ont utilisée. Cette première expérimentation constitue le début d'un processus de consultation que les chercheurs poursuivront conjointement avec la mise en œuvre de *Copilote*. Elle nous rappelle aussi l'importance de rédiger des guides très clairs et très précis sur la méthode d'analyse elle-même ainsi que sur l'utilisation du logiciel. Nous sommes plus conscients que jamais que la diffusion de *Copilote* devra probablement s'accompagner de sessions de formation. Enfin, une question demeure entière, c'est celle d'offrir aux enseignantes et aux enseignants des banques de questions de différents niveaux.

Copilote

Copilote sera une première mise en œuvre informatisée de la méthode d'analyse de la matière et de production de matériel d'auto-évaluation formative que nous venons de présenter. Ce progiciel servira autant à créer qu'à utiliser du matériel d'auto-évaluation avec rétroaction pertinente.

Dans cette partie, nous présenterons successivement les objectifs, les grandes lignes de l'interface et de l'intégration pédagogique du logiciel. Un devis de production détaillé suivra notre rapport de recherche sous peu.

Objectifs

Il importe de souligner que l'usage de *Copilote* n'est pas comparable à celui d'autres banques de questions objectives auxquelles on recourrait pour recevoir une rétroaction sommative. *Copilote* contient une représentation intégrée de tous les aspects d'un domaine enseigné et il retourne à l'élève une évaluation diversifiée de ses forces et de ses faiblesses dans l'ensemble de ce domaine. *Copilote* est donc plus qu'un appareil à mesurer un niveau de performance intellectuelle dans une situation simulant un examen: c'est un logiciel qui guide l'élève en l'aidant à élaborer une stratégie d'étude visant à combler ses points faibles. En fait, à l'usage, *Copilote* pourrait devenir solidaire d'un processus d'étude autoguidé. Ouvert à toutes les disciplines, offrant une analyse fine et tolérante des réponses formulées et permettant l'évaluation d'habiletés cognitives de tous niveaux, ce logiciel présente deux faces dont chacune poursuit des objectifs propres à son utilisateur.

Copilote, version professeur

Copilote permet au professeur d'analyser la matière à enseigner et de préparer du matériel d'évaluation. Plus particulièrement, il permet au professeur de:

- rédiger et enregistrer des questions faisant appel à des habiletés cognitives liées à l'utilisation des connaissances déclaratives et portant sur n'importe quel domaine de connaissances;
- rédiger et enregistrer des questions faisant appel à des habiletés cognitives liées à l'utilisation des connaissances procédurales et portant sur n'importe quel domaine de connaissances;
- recourir à des représentations visuelles dans sa présentation;

- consulter les versions imprimées ou magnétiques des productions de ses élèves pour mieux adapter son enseignement à l'état de leurs connaissances.

Copilote, version élève

Pour procéder à leur auto-évaluation, les élèves utiliseront le même logiciel sous un autre mode. Grâce à ce logiciel, l'étudiant ou l'étudiante pourra:

- Évaluer ses habiletés cognitives relatives au déclaratif, à savoir: identifier les concepts, nommer les attributs, établir les liens hiérarchiques entre les concepts, ordonner les phases d'un processus, identifier les agents d'une transformation;
- évaluer ses fonctions cognitives relatives au procédural, à savoir: résumer un processus, modifier un processus, inventer un processus;
- obtenir une rétroaction immédiate au moment d'une erreur d'identification d'un concept;
- obtenir une rétroaction à volonté sur ses erreurs de mise en relation des concepts afin d'identifier les erreurs et les situer dans l'ensemble à maîtriser;
- consulter un recueil corrigé de ses formulations de mises en relation des concepts;
- obtenir une transcription sommative de ses performances;
- corriger ses réponses à partir des rétroactions et des réflexions métacognitives qu'elles ont suscitées;
- acquérir une meilleure maîtrise de l'orthographe d'une nomenclature en demandant une réponse écrite plutôt qu'un choix de réponse dans la partie d'identification des concepts;
- augmenter son intérêt pour l'auto-évaluation en disposant d'un outil plus puissant et plus agréable.

Interface de Copilote

Copilote à deux faces

Le progiciel *Copilote* pourra être utilisé autant par un professeur que par une personne désirant s'auto-évaluer. L'interface sera quasi-identique dans les deux cas. Seul le mode d'utilisation destiné aux professeurs donnera accès aux outils de conception d'un domaine; à l'inverse, ce n'est qu'en mode étudiant que *Copilote* rétroagira.

Modes d'utilisation pour le professeur

Dans ce mode d'accès réservé, l'utilisateur ou l'utilisatrice conçoit un domaine en suivant la méthode que nous avons déjà exposée. Ce travail permet la planification de la matière à enseigner, produit des médias visuels et construit le matériel informatique d'auto-évaluation. Ce dernier est placé sur une disquette ou sur un disque rigide. Au départ, tous les étudiants et toutes les étudiantes disposent de la même version.

Modes d'utilisation pour l'étudiant et l'étudiante

En ayant accès au matériel préparé par leur enseignant ou leur enseignante, les élèves commencent à naviguer dans le domaine et tentent de répondre aux questions qui leur paraissent les plus faciles. Puis, ils et elles développent leur propre approche du domaine. Certains circuleront systématiquement d'un concept à l'autre en suivant les voies du développement tracées lors de la conception alors que d'autres exploreront systématiquement toutes les questions d'un niveau à la fois. Tout ce travail s'enregistrera dans le fichier de l'élève, constituant autant de versions individuelles du domaine qu'il y a d'étudiants ou d'étudiantes.

Description de l'interface selon les niveaux

Cette partie traite principalement du fonctionnement de *Copilote* en mode étudiant. Le fonctionnement de *Copilote* en mode professeur sera abordé dans la section relative à l'intégration pédagogique.

Le logiciel se caractérise par sa structure de saisie et de présentation du contenu conceptuel à quatre niveaux ou étages: l'empirique, le hiérarchique, l'actantiel et le résolutoire. L'organisation en quatre étages de *Copilote* découle

directement de notre modèle théorique. Malgré l'agencement séquentiel de ces niveaux, nous avons établi la nécessité de maintenir une complète récursivité entre eux. Il en découle que la mise en œuvre de *Copilote* doit toujours permettre à son utilisateur ou son utilisatrice de passer d'un niveau à un autre.

Niveau empirique

À l'étage ***empirique***, *Copilote* ressemble beaucoup à une banque de questions objectives traditionnelle, traitement graphique avancé en plus. Les questions portent exclusivement sur des concepts dont la maîtrise se manifeste par la reconnaissance et l'identification de leurs attributs. L'originalité de *Copilote* réside tout d'abord dans le fait que son utilisateur, bien qu'invité à répondre à toutes les questions, peut le faire dans l'ordre qu'il souhaite.

Le logiciel possède une autre caractéristique singulière: l'utilisateur ou l'utilisatrice doit écrire sa réponse. Cette exigence est à mettre en relation avec la distinction qu'il faut faire entre les habiletés cognitives requises pour reconnaître une bonne réponse et celles mises en œuvre pour la formuler. *Copilote* est donc doté d'un analyseur de réponse capable non seulement de confronter la réponse donnée à celle attendue, mais aussi de traiter la réponse mal écrite, partielle ou contenant un élément valable. Comme *Copilote* ne traite pas les synonymes à ce niveau, la formulation de la question devra restreindre la réponse attendue à une seule expression.

Deux zones composent la page-écran. Une zone située à gauche sert à afficher des illustrations ou du texte visant à mettre en situation. La zone de droite contient l'énoncé précis de la question, un espace pour écrire la réponse et un autre qui affiche la rétroaction immédiate. Chaque question occupe toute une page-écran. L'utilisateur ou l'utilisatrice circule dans la banque à l'aide de flèches directionnelles et s'oriente par l'affichage du numéro de chaque question.

Les réponses, bonnes ou mauvaises, restent écrites. La personne en auto-évaluation peut donc tenter de répondre aux questions autant de fois qu'elle le souhaite.

La rétroaction déclenche des réflexions métacognitives chez l'élève par suite de l'affichage d'informations sur la valeur de la réponse ainsi qu'un score cumulatif des bonnes réponses et du nombre de tentatives. Ainsi s'applique le principe selon lequel, en auto-évaluation, il n'y a pas d'erreur finale, mais des étapes vers la bonne réponse.

Le logiciel maintient une liste invisible des concepts maîtrisés à ce niveau. Ceux-ci peuvent alors devenir disponibles, à la discrétion du concepteur ou de la conceptrice du domaine, pour un traitement à un autre étage. Rappelons que l'accès aux étages supérieurs n'est pas conditionnel à une maîtrise empirique complète de tous les concepts.

Niveau hiérarchique

Au niveau ***hiérarchique***, l'utilisateur peut vérifier son degré de maîtrise des rapports hiérarchiques entre des concepts. La question se présente sous la forme d'une liste de concepts à ordonner. Cette liste affiche des concepts accordés soit par défaut, soit à la suite de leur maîtrise empirique. En règle générale, le nœud racine est accordé par défaut[69].

Pour construire son arbre, l'élève commence par placer les taxèmes contenus dans la liste sur une zone de dessin de la page écran. L'élève les dispose entre des lignes horizontales qui délimitent les différents niveaux hiérarchiques. Les cases sont ensuite reliées par des liens qu'il faut nommer. Pour ce faire, l'élève utilise un menu local contenant les choix de verbes regroupés selon les sous-classes des relations hiérarchiques.

La rétroaction, déclenchée à la demande de la personne en auto-évaluation, compare son arbre à celui du professeur concepteur. Les éléments communs sont alors mis en évidence, soit graphiquement sur l'arbre représenté, soit textuellement, à partir d'une série de propositions inscrites dans le cahier. Ces propositions peuvent alors être comparées avec celles produites par le professeur. L'utilisateur et l'utilisatrice peuvent construire autant d'arbres qu'ils le désirent. Des scores pseudosommatifs sont tenus à jour après chaque demande de rétroaction. Le premier affiche le nombre de taxèmes ou de phases maîtrisés dans l'ensemble de l'arbre, le deuxième informe sur la même performance pour l'ensemble des arbres hiérarchiques et le troisième indique le nombre de tentatives (c'est-à-dire de demandes de rétroaction) pour l'arbre affiché.

À mesure qu'ils sont maîtrisés, les taxèmes sont réunis dans une liste invisible. Cette liste sert à établir quelles unités pourront être traitées aux étages suivants. Rappelons que cet accès n'est pas conditionnel à une maîtrise hiérarchique complète de tous les taxèmes ni de toutes les phases.

Niveau actantiel

Le niveau ***actantiel*** permet à la personne qui utilise *Copilote* de vérifier son degré de maîtrise des rapports engagés entre des unités sémantiques pendant une transformation, une action. L'unité de représentation et de maîtrise s'appelle un actème. Les éléments utilisés dans l'analyse d'un actème remplissent les fonctions prévues dans notre modèle théorique, à savoir:

- l'agent;
- la transformation;

---

69 Si le nœud racine n'est pas accordé, alors il sera déclaré maîtrisé quand tous les actèmes ou les phases sous-jacents auront été bien localisés. Toutefois, la rétroaction réagira dès qu'il occupera le sommet de l'arbre.

- l'état initial;
- l'état final;
- l'instrument;
- les circonstances;
- le but.

Pour utiliser un concept, on recourt à un schème universel, présenté sous forme graphique, qui est fourni dès le départ. Ce schème est toujours le même car il permet de représenter n'importe quelle transformation.

L'élève doit remplir correctement les cases du schème. Pour cela, il ou elle leur affecte des sèmes présents dans une liste. Cette liste, affichée dans une fenêtre superposée et mobile, contient des éléments accordés soit par défaut, soit à la suite de leur maîtrise hiérarchique ou empirique. Le verbe précis servant à décrire la transformation peut faire partie des concepts.

À la demande de la personne en auto-évaluation, la rétroaction compare son schème à celui du professeur concepteur. Les éléments communs entre les schèmes de l'étudiant ou de l'étudiante et du professeur sont alors mis en évidence graphiquement. Un sème est réputé valide quand il occupe la bonne case dans le schème. De plus, un cahier enregistre les formulations présentes dans le schème complété par l'élève. La consultation de ce cahier déclenche des réflexions métacognitives. L'élève peut produire un schème actantiel autant de fois qu'il ou elle le désire.

Trois scores pseudosommatifs informent tout d'abord sur le nombre de tentatives, le pourcentage de réussite pour chacun des actèmes et, enfin, sur le pourcentage de réussite de l'ensemble des actèmes présents dans le domaine.

Niveau résolutoire

Le niveau ***résolutoire***, quant à lui, permet à l'utilisateur ou à l'utilisatrice d'évaluer son degré de maîtrise des rapports établis entre des unités sémantiques en se confrontant à la résolution d'un problème restreint. L'unité d'analyse est une proposition reliant deux nœuds par une relation choisie à l'intérieur du vocabulaire restreint. Seules les relations nécessaires à la résolution du problème sont mises en évidence, les autres demeurant condensées sous forme d'actèmes ou de taxèmes.

La question se présente sous la forme d'un énoncé de problème. Pour afficher sa solution, l'élève dessine une carte résolutoire faite de nœuds et de liens. Il est entièrement libre de disposer les nœuds et les liens comme bon lui semble.

Les nœuds contiennent des actèmes, des taxèmes ou des concepts empiriques qui apparaissent dans une liste mobile superposée à l'espace de dessin. Cette liste peut être complète dès le départ ou se constituer au fur et à mesure que des éléments sont maîtrisés dans le mode actantiel, classificatoire ou empirique. Les liens entre deux nœuds sont nommés à partir d'un menu local

contenant l'ensemble des relations du vocabulaire universel que nous avons établi dans la partie théorique de notre recherche.

À la demande de la personne qui s'auto-évalue, la rétroaction compare sa carte à celle du professeur concepteur. Les formulations correctes communes sont alors mises en évidence graphiquement. Un cahier enregistre les propositions formulées dans la carte de l'étudiant ou de l'étudiante. Ce cahier pourra être consulté pour obtenir une autre forme de rétroaction. L'élève peut dessiner sa carte résolutoire autant de fois que souhaité.

Cahier des formulations

Le cahier bénéficie de fonctions utiles pour amener l'élève à dégager des stratégies métacognitives en cours d'auto-évaluation. Il contient une zone de texte où s'affichent les formulations présentes dans le réseau ou le schème affiché au moment où la rétroaction a été demandée.

Tout d'abord, un signe typographique marque les formulations qui, à la suite d'une demande de rétroaction, coïncident avec celles du professeur. Un score global est maintenu sur cette base. Ensuite, l'élève dispose d'une fonction de recherche grâce à laquelle il ou elle peut revoir toutes les formulations impliquant un concept donné. Cette fonction lui permet aussi de retrouver toutes les occurrences d'un concept, toutes ses formulations, bonnes ou mauvaises.

Modalités formelles de rétroaction

Nous avons déjà abordé la question de la rétroaction sous l'angle des critères de maîtrise et sous celui des différentes formes qu'elle prendra. Il reste maintenant à en traiter sous l'angle de la présentation formelle à l'écran.

Rétroaction textuelle

À chaque niveau, la rétroaction textuelle se présente sous forme de messages écrits et de scores. Au niveau empirique, des messages écrits sont transmis à l'élève dès réception de sa réponse. Ces messages en confirment la validité ou la non-validité. Dans ce dernier cas, un analyseur de réponse vérifiera si la réponse fournie n'est pas une variante mal écrite, incomplète ou inversée de la réponse attendue. Si la réponse est mal écrite, *Copilote* signalera à l'élève qu'il a fait une faute d'orthographe et lui permettra de se reprendre. Autrement, le message mettra en évidence les éléments éventuellement valables de la réponse ou invitera l'élève à compléter sa réponse. Si tous les

éléments de la réponse sont présents mais inversés, *Copilote* le signalera en donnant la possibilité de se reprendre.

Aux niveaux hiérarchique, actantiel ou résolutoire, l'utilisateur ou l'utilisatrice de *Copilote* peut demander une rétroaction textuelle au moment désiré. Le cahier apparaît alors à l'écran, mettant en relief les formulations correctes par un signe typographique.

Il existe également dans *Copilote* une rétroaction textuelle de type sommatif sous forme de score. Au niveau empirique, ce score donne le rapport entre les questions réussies sur le total. Aux autres étages, un rapport est calculé pour chacune des questions et un autre l'est pour l'ensemble des questions du même niveau.

Rétroaction visuelle

Il existe dans *Copilote* deux formes de rétroaction visuelle différentes. La première est spécifique à chaque niveau d'interrogation alors que la seconde est globale. Commençons par explorer les formes particulières de la rétroaction par niveau.

Rétroaction par niveau

La rétroaction visuelle ne s'applique pas aux questions objectives du mode empirique. Pour les autres modes, elle est fournie à la demande.

La rétroaction visuelle modifie l'apparence de l'arbre, de la carte ou du schème de façon à faire ressortir les éléments de réponse qui coïncident avec ceux du concepteur ou de la conceptrice. Rappelons que ces éléments varient selon les critères de rétroaction propres à chaque niveau. Ces critères ont déjà été présentés dans la partie *Contenu et formes de la rétroaction*.

Rétroaction globale

À tout moment, une personne qui s'auto-évalue peut demander à voir un bilan de ses performances dans le domaine. Ce bilan contient des informations sur le pourcentage de réussite global ainsi que le nombre moyen de tentatives par question pour chacun des niveaux.

Rétroaction imprimée

Copilote permet d'imprimer un rapport des éléments de la rétroaction tant locale que globale. Ce rapport contient donc les scores et le nombre de tentatives pour chacune des questions du domaine, étage par étage, ainsi que la rétroaction globale.

Intégration pédagogique

Le progiciel *Copilote* constitue un auxiliaire important de la pratique pédagogique. De par ses fonctions, il sert en même temps au professeur d'outil d'analyse et d'organisation de la matière et d'outil d'évaluation formative. Bien sûr, il sert à l'étudiant et à l'étudiante d'instrument d'évaluation formative.

Du côté du professeur

Pour les professeurs, *Copilote* remplit une double fonction. Comme système d'analyse, il permet de passer la matière au crible lors de la planification de l'enseignement; comme instrument d'évaluation formative, il permet d'identifier les connaissances préalables, de s'assurer de leur maîtrise et de vérifier l'efficacité du matériel didactique employé. Si on voit immédiatement dans l'efficacité de *Copilote* un de ses grands intérêts, on ne peut éviter de considérer l'autre côté de la médaille et s'interroger sur l'intégration pédagogique de *Copilote* . En quoi la pratique du professeur sera-t-elle changée par l'utilisation de *Copilote* ?

Surcroît de travail ou gain de temps?

Il ne faut pas se cacher que, au début, *Copilote* demandera un effort d'analyse systématique de la matière afin d'en extraire les différents types de connaissances. En cela, *Copilote* exigera un surcroît de travail auquel s'ajoutera la familiarisation avec une méthode d'analyse nouvelle. Cependant, il importe de souligner que ce travail s'effectue normalement avant les activités d'enseignement et que la création du matériel d'évaluation peut s'étaler sur plusieurs sessions. Le professeur peut aussi choisir de se consacrer prioritairement aux domaines les plus difficiles mais, dans tous les cas, il devrait éviter de ne développer qu'un seul niveau de connaissances. Cela irait à l'encontre de l'esprit de *Copilote* qui se veut un instrument systémique.

Il est aussi permis de penser que le surcroît initial de travail devrait se trouver compensé par plusieurs avantages. Le premier est de permettre au professeur de considérer sa matière sous un angle nouveau et plus critique. Le second, et non le moindre, est que l'analyse du contenu et la fabrication du matériel d'auto-évaluation s'effectuent simultanément. Par cette combinaison d'opérations, la planification du professeur gagne en efficacité tout en demandant moins de temps. Il est néanmoins impossible, à l'heure actuelle, d'évaluer précisément le temps qu'exigeraient l'analyse et la préparation du matériel d'évaluation pour chaque tranche de cours.

Par ailleurs on peut supposer que les domaines de la matière soumis à une analyse et constituant le matériel d'auto-évaluation sont suffisamment intégrés pour regrouper de vastes sections d'un cours. Par conséquent, il ne faudrait pas imaginer qu'un professeur, désirant utiliser *Copilote* pour traiter tout le contenu de son cours, créera plus de trois ou quatre analyses de contenu. Concrètement, une analyse pourra être effectuée en vue de préparer les élèves à chacune des dissertations ou des examens prévus dans une session.

Création du matériel d'auto-évaluation

Pour la création du matériel d'auto-évaluation, le professeur accède à des fonctions de conception qui lui sont exclusives dans *Copilote*. Il ou elle commence par dessiner la carte résolutoire d'un problème qu'il souhaite voir résoudre par ses élèves comme preuve finale de maîtrise d'un domaine du contenu enseigné. Cette carte contient différents types de nœuds. Pour chacun de ceux qui contiennent des actèmes à maîtriser, le professeur remplit un schème. Dans chacun des schèmes ou chacune des cartes figurent également des unités constituant des racines d'arbres classificatoires. Pour ces taxèmes, le professeur construit un arbre en utilisant l'une ou l'autre des trois relations hiérarchiques. Enfin, dans les cartes, tout autant que dans les schèmes et les arbres, se retrouvent certains concepts que les étudiants et les étudiantes devraient être en mesure d'identifier ou de décrire. Pour ceux-là, le professeur prépare des questions, incluant du texte ou des images, pour lesquelles il ou elle écrit la réponse attendue.

Le professeur concepteur peut imprimer le contenu d'une page-écran, soit une question empirique, un arbre hiérarchique, un schème actantiel ou la carte résolutoire de son domaine. Il peut aussi obtenir un rapport lui affichant la totalité du contenu du domaine. Ce rapport contient la liste de toutes les questions du domaine avec, pour chacune, une indication sur l'état de développement ou de concession de l'unité sémantique. Dans le cas des développements, la liste précisera avec quelle autre question celle qui contient une unité développée ou condensée est liée.

Au terme de ce travail de conception, *Copilote* a automatiquement construit le matériel d'auto-évaluation. Toutes les unités qui ont fait l'objet d'un développement sont retirées des listes disponibles aux élèves jusqu'à leur maîtrise tandis que les unités qui n'ont pas fait l'objet d'un développement sont considérées comme accordées et constituent le matériel de travail offert initialement aux élèves. De plus, chaque schéma dessiné par le professeur est traduit par *Copilote* en une liste de formulations de liens simples entre les concepts.

Le professeur peut maintenant distribuer le fichier contenant son domaine. Quand les élèves y accéderont, ils s'y trouveront en mode d'auto-évaluation.

Cela n'empêchera pas un professeur de reprendre plus tard un fichier d'élève et d'y retourner pour revoir et modifier son travail de conception.

Préparation des élèves

Avant de laisser aux étudiants et aux étudiantes le soin de s'auto-évaluer, le professeur doit leur fournir la formation nécessaire pour naviguer dans un contenu organisé par *Copilote*. Cela se fera dans le cadre de l'enseignement, au début de la session, si le professeur utilise lui-même l'approche théorique. Quant à la formation au maniement de l'appareil et du logiciel, le professeur peut s'en charger, en dehors de son enseignement régulier, ou recourir au personnel professionnel spécialisé en APO de son collège.

Copilote à l'usage

Le professeur peut alors laisser aux étudiants et aux étudiantes le soin de s'auto-évaluer. N'oublions pas que l'étudiant ou l'étudiante est l'expert en autoformation et qu'il est donc le premier responsable de son apprentissage. Toutefois, le professeur doit s'impliquer directement dans le processus d'évaluation formative.

On peut imaginer que certains professeurs verront dans *Copilote* un outil qui les dégage totalement de cette charge que constitue l'évaluation formative comme stratégie pédagogique de formation de l'étudiant et de l'étudiante. Ils ou elles imaginent que parce qu'elle est réalisée en dehors de la salle de classe, sans prestation ni correction, l'évaluation formative peut rester limitée à son aspect étudiant. De rétroaction, les professeurs ne reçoivent que celle que leur donnent les étudiantes et les étudiants qui désirent les rencontrer soit pour manifester leur succès, soit pour faire part de leurs difficultés.

À cette pratique s'oppose une autre, beaucoup plus efficace, beaucoup plus formative pour le professeur, plus prenante mais qui ferait de cette évaluation un élément profondément intégré à l'enseignement et à l'apprentissage. Dans ce cas, le travail du professeur ne s'arrête pas à l'analyse de la matière et à la préparation du matériel d'évaluation. Il participe à l'évaluation, mais de loin. Il en fait un nouveau lieu de rencontre, d'échange, d'enseignement et de réflexion. En effet, par certaines fonctions du logiciel, le professeur peut disposer d'informations sur les performances de ses élèves et sur son enseignement. Par exemple, s'il exige les rapports d'évaluation, il peut suivre attentivement les élèves en situation d'échec potentiel, cerner le type de difficultés auxquelless ils se heurtent, évaluer le degré de maîtrise de certaines habiletés et situer les lacunes avec précision. Grâce à ces informations, il peut décider de reprendre immédiatement certains éléments de la matière, de procéder par correction individuelle, d'approfondir un domaine avec des étudiantes et des étudiants plus avancés, etc. À plus long

terme, il peut utiliser les informations disponibles pour planifier de nouvelles stratégies d'enseignement plus efficaces.

Du côté de l'élève

L'étudiant et l'étudiante peuvent faire appel à *Copilote* dans plusieurs situations. La plus commune sera certainement celle de la préparation à l'évaluation sommative. Avant chaque examen prévu, l'élève étudie, révise sa matière et s'auto-évalue. Il se respecte dans son mode d'appréhension de la matière, car il procède systématiquement par niveau ou en naviguant au gré de ses intérêts, en ayant toujours le choix de revenir sur les questions auxquelles il a déjà répondu. De plus, le vocabulaire disponible lui permet aussi de traiter les connaissances sous l'angle le plus adapté à son mode de fonctionnement intellectuel.

Les résultats de l'auto-évaluation lui indiquent son degré de maîtrise des différentes connaissances et habiletés qui feront l'objet de l'évaluation sommative. Grâce à ces informations, il décide alors de la conduite à tenir, en particulier s'il constate qu'il éprouve des difficultés. Après avoir déterminé si son résultat provient d'un manque d'étude ou de difficultés inhérentes à la compréhension de la matière, il peut prendre les décisions qui s'imposent ou en discuter avec son professeur.

On peut aussi imaginer que *Copilote* puisse servir d'instrument de révision pour les étudiants et les étudiantes qui désirent faire le point sur des préalables dont l'étude remonte à plusieurs mois ou à plusieurs années. Enfin, il n'est pas impossible que *Copilote* constitue l'élément central d'un processus d'autoformation répondant aux besoins d'étudiants et d'étudiantes qui, pour diverses raisons, ne peuvent s'intégrer dans un groupe-classe ou suivre un enseignement régulier ou participent à un programme de formation à distance.

Utiliser Copilote

Pour utiliser *Copilote* , les étudiants et les étudiantes doivent avoir une connaissance de base des ordinateurs Macintosh™. Toute étudiante ou tout étudiant initié au fonctionnement de ces ordinateurs devrait être capable d'utiliser le système d'auto-évaluation du logiciel après avoir reçu un minimum de formation et après avoir compris comment *Copilote* organise et présente les connaissances soumises à son expertise.

En recevant sa copie du fichier de *Copilote* créé par le professeur, l'étudiant ou l'étudiante peut parcourir les quatre niveaux. Il ou elle voit ce qui lui est demandé et peut tenter des réponses. Son cheminement global devrait suivre un parcours allant de l'empirique au résolutoire, mais, comme le veut notre

modèle théorique qui offre des voies récursives dans la découverte des réponses, l'étudiant ou l'étudiante peut naviguer à sa guise d'un étage à l'autre, montant et descendant dans la hiérarchie des opérations cognitives.

La caractéristique principale de *Copilote* réside dans l'enregistrement des traces des dernières réponses formulées par l'élève. Cette chronique, inscrite dans le cahier des formulations, lui sert d'abord et avant tout de déclencheur de réflexion métacognitive. En retournant à cette chronique, l'utilisateur ou l'utilisatrice voit où il a bien répondu, localise ses fautes et peut procéder à leur analyse. C'est ainsi qu'il ou elle en arrive à établir une stratégie de réponse concernant l'ensemble du domaine sur lequel porte l'auto-évaluation. Un rapport imprimé succinct procure à l'élève et au professeur une base d'échanges. L'enregistrement des traces se fait continuellement et automatiquement, facilitant ainsi la sortie rapide à tout moment du logiciel. Au niveau empirique, les questions ne sont jamais retirées du questionnaire, même dans le cas d'une bonne réponse. La dernière réponse de l'élève ainsi que la rétroaction qu'elle a suscitée peuvent réapparaître à l'écran. Ainsi l'utilisateur ou l'utilisatrice peut revoir le fruit de son travail, qu'il s'agisse de questions auxquelles il ou elle a donné une mauvaise réponse, une bonne réponse ou auxquelles il ou elle n'a pas répondu.

L'assiduité et le temps consacré à s'auto-évaluer à l'aide de *Copilote* varieront selon les connaissances acquises et l'intérêt des élèves utilisateurs et utilisatrices. Bien qu'un professeur puisse réserver du temps d'enseignement pour des utilisations en groupe, *Copilote* est voué d'abord et avant tout à une utilisation individuelle. Pour résoudre un domaine, c'est-à-dire pour répondre correctement à toutes les questions empiriques, dessiner adéquatement tous les arbres, analyser tous les actèmes et tracer une bonne carte résolutoire, nous estimons qu'il faudra plusieurs séances de travail totalisant de trois à cinq heures. Ces séances de travail sont entrecoupées de moments d'étude ou de rencontres avec son professeur au cours desquelles l'élève tente de pallier les faiblesses diagnostiquées.

Interaction professeur-élève

À tout moment, l'élève peut consulter son professeur, tout comme ce dernier peut exiger de son élève qu'il produise ses rapports d'auto-évaluation. Ces rencontres permettront aussi au professeur de discuter de certains liens apparaissant dans les cartes résolutoires de ses élèves. On se souvient, en effet, que la rétroaction fournie pour les cartes résolutoires porte sur la comparaison des propositions de la carte de l'étudiant ou de l'étudiante avec celles du professeur.

Ainsi, *Copilote* n'exclut pas le professeur de la dynamique pédagogique décrite plus haut. De par sa nature, ce logiciel transforme le rôle du professeur contrôleur en celui du professeur tuteur. En effet, dégagé de la

tâche de correction, l'enseignant ou l'enseignante peut être plus facilement perçu comme une personne-ressource extérieure à l'évaluation. Il s'ensuit une nouvelle relation avec l'élève au cours de laquelle l'emphase est mise sur le diagnostic et sur les stratégies correctives.

Développement et perspectives de production

Produits existants et inventaire critique des outils de développement

L'examen attentif des logiciels actuellement disponibles nous a permis de constater qu'il n'existait, à notre connaissance, aucun autre produit comparable à *Copilote*. Par ailleurs, beaucoup de logiciels, dont des banques de questions et des logiciels de schématisation, offrent plusieurs caractéristiques intéressantes dont nous avons retenu le principe ou dont nous nous sommes inspirés. Nous avons aussi examiné des logiciels de programmation pour trouver un environnement de prototypage, voire de développement.

Banque de questions

Tests informatisés[70]

Disponible en version PC, *Tests informatisés*™ crée et gère des questions de divers types: choix multiples, mot manquant, etc. Les questions peuvent être présentées sous forme graphique. La gestion permet de préparer un examen imprimé ou de le faire passer à l'écran. Le logiciel permet des compilations de groupe. Malgré ses grandes qualités, ce logiciel ne présente aucune possibilité d'utilisation comme outil d'auto-évaluation formative dans le cadre d'un design pédagogique de deuxième génération.

LXR•TEST[71]

LXR•TEST™ présente les mêmes caractéristiques que *Tests informatisés*™ avec un certain nombre d'ajouts, dont la correction automatique. Le logiciel calcule

---

70 Pile Informatique, Laval, Québec.

71 Logic eXtension Resources, États-Unis.

en plus les moyennes de groupe et attribue un coefficient de difficulté aux questions en fonction de leur taux de réussite. À l'instar du précédent, il paraît impossible d'utiliser *LXR•TEST™* à des fins d'auto-évaluation formative dans le cadre de notre modèle d'analyse de contenu.

GREFI

Claude Guillette, du Groupe de recherche en évaluation formative informatisée, de l'UQAM, a participé activement à la mise au point d'un système informatisé de création et de gestion de banques de questions utilisées dans un contexte d'auto-évaluation[72]. L'analyse de contenu présidant à la confection des questions se fait sur la base d'objectifs comportementaux. Ces objectifs sont tirés de la description des programmes officiels. Le système du GREFI se rattache à ce que Jones, Li et Merrill ont appelé des designs de première génération[73] et ne peut servir d'outil dans une approche comme la nôtre.

Schématisation

SemNet[74]

Le professeur Kathleen M. Fisher dirige une recherche dont le but est de produire *SemNet™*, un logiciel qui permet à la fois de construire des réseaux sémantiques (*SEMantic NETwork*) et de circuler dans ces réseaux. Ce type de réseau rend compte des relations qu'une personne établit entre des idées, des faits et des concepts, soit d'une façon organisée, soit spontanément, soit au gré de leur découverte. Le résultat final peut former une toile d'araignée inextricable liant des centaines, voire des milliers de nœuds.

Pour faciliter la circulation à l'intérieur d'un réseau d'une telle ampleur, la conceptrice de *SemNet™* a mis au point le principe du visionnement par cadres. Un cadre est une page-écran avec un nœud qui en constitue l'unité centrale. Ce nœud, qui contient une idée centrale, est relié à d'autres nœuds périphériques par des rayons qui en émergent. À son tour, chaque nœud périphérique peut entretenir des relations avec d'autres nœuds. Mais ces

---

72 Communication personnelle. Colloque Enseignement et ordinateur. Université McGill, décembre 1990.

73 JONES, M. LI, Z. et M. D. MERRILL. «Domain Knowledge Representation for Instructionnal Analysis», dans *Educational Technology*, octobre 1990.

74 FISHER, K. M., Center for Research in Mathematics and Science Education, San Diego State University, 6575 Alvarado Road, Suite 206, California, USA CA 92120.

nœuds et ces relations ne deviennent visibles que si le centre du cadre est déplacé vers l'un d'eux. En somme, un cadre affiche toujours une idée centrale et ses connexions immédiates avec d'autres idées.

Comme nous l'avons déjà mentionné ailleurs, les concepteurs de ce logiciel n'ont pas élaboré leur propre typologie de relations. Toutefois, l'étape de validation du logiciel a révélé, entre autres choses, que chaque utilisateur ou utilisatrice, en construisant le réseau d'un domaine, mettra au point son propre vocabulaire limité de relations types. Par conséquent, les auteurs suggèrent de distinguer entre, d'une part, le prototype d'une relation et, d'autre part, l'occurrence d'une relation type. Si un réseau peut facilement contenir jusqu'à un millier d'occurrences, il est possible d'imaginer qu'il n'aura en revanche qu'une douzaine de types de relations. Dans cet esprit, K. Fisher et son équipe ont donc imaginé un artifice destiné à faire ressortir l'homologie des relations d'un même type. Le logiciel est programmé de manière à ce que, pour toutes les occurrences d'une même relation type, le trait reliant le nœud central aux nœuds périphériques aille toujours dans la même direction. Pour ce faire, l'écran a été divisé en douze secteurs à la façon d'une horloge. Cela leur permet, en plus, de suggérer un regroupement des types de relations selon qu'elles soient ascendantes (vers midi), descendantes (vers six heures) ou horizontales (vers neuf ou trois heures).

Leur système de nomenclature des relations, qui permet également d'avoir recours aux réciproques et à des synonymes, peut utiliser notre propre typologie des relations (figure 39). Toutes ces caractéristiques font de *SemNet*™ le meilleur logiciel actuel de construction de réseaux sémantiques.

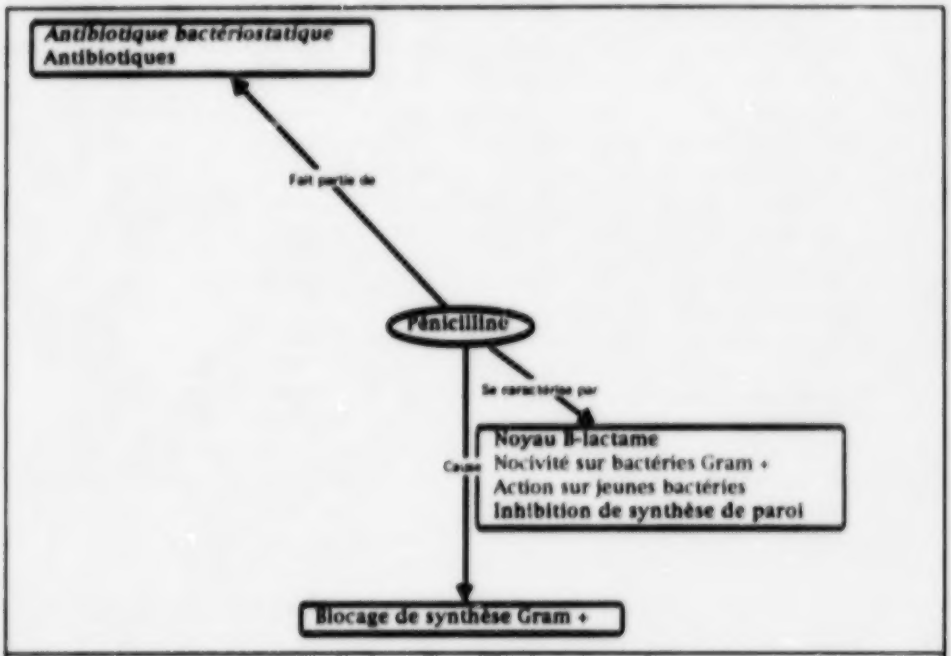

Figure 39

Exemple d'un cadre de relations autour de *Pénicilline*. Il a été construit à l'aide de *SemNet*™ et utilise notre typologie des relations.

La diffusion du logiciel *SemNet*™ est restreinte à un groupe d'expérimentateurs[75]. Nous en avons appris l'existence par l'intermédiaire de deux textes qui le présentent bien et donnent une bonne idée de son utilité dans un contexte pédagogique[76] . Nous nous sommes joints à l'équipe des expérimentateurs. Il ressort de notre expérience tardive[77] avec *SemNet*™ que ce logiciel constitue un bel outil de planification de la matière ou de consignation de notes de cours.

Même s'il utilise le principe de la chronique du travail effectué par un élève, ce logiciel ne peut être utilisé directement pour créer un outil d'auto-

---

75 Une version commerciale est prévue pour le mois d'août 1991.

76 FISHER, K. M. et al. , «Computer-based Concept Mapping», dans *Journal of College Science Teaching*, mai 1990, p 347-352.

77 Nous avons reçu notre copie de SemNet™ à la fin du mois de juin 1991.

évaluation faisant appel à notre méthode d'analyse de la matière, et ce pour deux raisons. La première est que les concepteurs et conceptrices de *SemNet*™ ne distinguent pas les connaissances par niveaux. La seconde est que les personnes qui l'utilisent placent toutes les relations sur le même plan. Cette pratique a pour conséquence d'installer une certaine confusion cognitive et de construire des réseaux à deux dimensions d'une très grande ampleur. L'approche que nous privilégions présente donc des avantages indéniables sous les trois rapports suivants:

- mécanismes de rétroaction intégrés;
- hiérarchie récursive entre les niveaux cognitifs et les opérations mentales afférentes;
- réseau condensé à quatre dimensions.

MORE[78]

MORE™ offre des possibilités étonnantes de traduction d'un plan en arbre[79]. Toutefois, il ne permet pas la création d'autres types de schémas et il est inutilisable en situation d'auto-évaluation informatisée. Son usage devrait donc se limiter aux professeurs qui ont besoin de logiciels pour la représentation graphique des arbres hiérarchiques et des séquences.

Architext[80]

Architext™, maintenant retiré du marché, permet de constituer une banque de fiches contenant du texte et des images. Chaque fiche possède un titre figurant dans une liste contenant tout le fichier. Cette liste constitue un nœud d'informations. *Architext*™ permet de reporter le titre d'un nœud depuis la liste complète vers une zone de dessin, appelée «carte.» Là, il apparaît à l'intérieur d'un rectangle. Les différents rectangles importés de la liste centrale vers la carte peuvent être reliés par des traits. Les liens tracés peuvent être nommés. De plus, *Architext*™ fournit des outils de navigation entre les nœuds et entre les cartes et les nœuds. Dernier intérêt, *Architext*™ possède un module de fonctionnement réservé à l'étudiant ou l'étudiante qui permet d'enregistrer les traces de leur «visite» à l'intérieur d'un fichier. Le parcours suivi par l'élève qui y navigue, ainsi que le temps passé dans chacun des nœuds et des cartes sont enregistrés. Ces informations sont placées dans un fichier auquel seul le professeur peut accéder.

---

78 Symantec Corporation, États-Unis.

79 SÉGUIN, P. «Un EAO qui améliore les résultats des étudiants» , dans *Technologiques*, vol. 3, n°. 16, Collège de Bois-de-Boulogne, p. 3-6.

80 BrainPower Inc., États-Unis.

À cause de ce mode étudiant, *Architext*™ nous est apparu comme le logiciel le plus facile à convertir en instrument d'auto-évaluation. Nous nous sommes inspirés de ses qualités, mais de sérieuses faiblesses nous ont empêchés de l'adopter. Ces faiblesses sont: l'impossibilité d'afficher le nom des liens sur la carte, l'absence d'un vocabulaire pour les liens, l'impossibilité de classer des connaissances selon les niveaux cognitifs et l'absence de mécanisme de rétroaction.

MacFlow et TopDown[81]

Ces deux logiciels, très proches l'un de l'autre, servent à dessiner des diagrammes de flux. Utilisés pour la conception de logiciels ou pour d'autres systèmes de circulation de données, *MacFlow*™ et *TopDown*™ peuvent servir à construire des schémas de concepts. Ils utilisent une palette de formes graphiques standardisées et permettent de lier ces formes par des traits affichant les noms qu'on leur donne. De plus, ces formes peuvent contenir des informations textuelles ou graphiques et, même, d'autres schémas.

Grâce à une fonction «Zoom», une forme graphique peut être développée à un autre niveau. Cette possibilité nous a beaucoup inspirés dans notre façon de traiter et de développer les connaissances par niveau.

Les schémas pouvant s'étaler sur plus d'une page, les logiciels offrent une vue réduite à l'écran de l'ensemble dessiné. On voit donc combien ces logiciels ont influencé notre design informatique. Cependant, au plan pédagogique, ils présentent les mêmes faiblesses qu'*Architext*™ et paraissent difficiles à transformer en instrument d'auto-évaluation.

Stella[82]

Stella™ est un logiciel de conception de systèmes qui permet de comprendre et de représenter les aspects dynamiques de l'évolution des systèmes. *Stella*™ anime à l'écran un schéma des flux entre les entités d'un système dynamique. Ces entités sont: des réservoirs, des canaux et des valves. Aux réservoirs et aux valves sont associées des formules qui permettent de modifier la valeur numérique des paramètres qui les définissent. La modification des valeurs entraîne des comportements différents de l'évolution du système. Pour certaines valeurs, réputées critiques, on observe une rupture de l'équilibre. Celle-ci se traduit par un changement radical de direction: c'est la catastrophe. L'évolution des valeurs peut être traduite à l'écran par le tracé d'une courbe. La catastrophe y apparaît comme une inversion subite de la pente.

---

81 Kaetron Software Corporation, États-Unis.

82 High Performance Systems, États-Unis.

Le design d'un système dans *Stella*™ exige de la part du concepteur ou de la conceptrice d'assigner une valeur initiale à chaque entité du modèle et de définir les formules décrivant leur évolution. Bref, la confection d'un schéma dans *Stella*™ impose le même type d'analyse qu'exige la construction d'un système expert. *Stella*™ est un instrument remarquable, mais le niveau de maîtrise du sujet qu'il exige de la personne conceptrice ou utilisatrice le rend impropre à une utilisation indépendante par un grand nombre de professeurs et d'élèves de niveau collégial.

Outils de développement

HyperCard[83]

Les avantages de ce système de développement sont nombreux: confection aisée des pages-écrans, langage de programmation facile à apprendre, nombreux scripts du domaine public et grande disponibilité dans le réseau. Mais dès l'instant où la conception informatique a fait intervenir des objets graphiques pour représenter les nœuds des réseaux ou les cases des schèmes, *HyperCard*™ s'est révélé inutilisable à cause de l'impossibilité de représenter de tels objets. La version 2 de *HyperCard*™ ne comblant pas cette lacune, ce logiciel ne peut être retenu pour la production.

Serius[84]

Serius™ est un outil de développement particulier. Il s'agit d'un système-auteur utilisant une métaphore à objets totalement graphique. Les logiciels se composent de vastes réseaux d'objets échangeant des informations de deux types: des messages et des données. Les messages permettent de stimuler des méthodes dans les objets comme modifier ou transférer des données, par exemple. Chaque objet est représenté sous la forme d'une icône possédant des points d'entrée et de sortie des flux de messages et de données. Le programmeur dispose de surfaces de dessins superposables où il lie les différents points d'entrée et de sortie des objets. Le résultat peut être comparé à un circuit imprimé de composants électroniques.

Un pseudo-compilateur transforme le fichier interprété en un fichier autonome par une injection d'un code supplémentaire d'environ 50 Ko. Le fichier autonome possède éventuellement une icône particulière et crée ses propres fichiers; bref, il se comporte comme un logiciel standard du

---

83 Apple Computers, États-Unis.

84 Serius Corporation, États-Unis.

Macintosh™. Aucun droit d'auteur n'est exigé pour distribuer un fichier autonome produit avec *Serius*™. De plus, il tourne à une vitesse acceptable, même sur des appareils munis du microprocesseur 68000.

La grande limite de *Serius*™ vient du fait qu'il est fourni avec un petit nombre d'objets non modifiables. Les premiers exercices de prototypage à l'aide de ce système ont montré que la bibliothèque fournie ne contenait pas les objets requis pour *Copilote*. Il est possible de se procurer une version «développeur» de *Serius*™ avec laquelle on peut créer et modifier des objets. Mais pour cela, il faut utiliser un langage comme le Pascal ou le C. On ne comprend plus alors l'avantage de traduire ces objets en *Serius*™.

Le seul intérêt que nous voyons à ce système de développement est de permettre à des créateurs de logiciels ne maîtrisant pas les langages de programmation - le Pascal ou le C, par exemple - de demander à un seul programmeur de leur créer des objets particuliers. Le service de développement de matériel didactique informatisé de la DGEC pourrait utiliser une approche semblable.

SuperCard[85] *et Plus*[86]

SuperCard™ et *Plus*™ sont des systèmes de développement largement inspirés d'*HyperCard*™. Parmi leurs avantages, celui qui nous intéresse le plus est leur capacité d'utiliser des objets graphiques. *SuperCard*™ offre en plus la plupart des éléments de base de l'interface Macintosh™: menus, dont les menus hiérarchiques et locaux, champs à liste et fenêtres multiples, dont les fenêtres flottantes («palettes»). Ces deux systèmes-auteurs peuvent lire et traduire des piles créées dans *HyperCard*™. Les commandes et les fonctions externes mises au point pour *HyperCard*™ peuvent être utilisées dans *Plus*™ et dans *SuperCard*™. Le compilateur de script d'*HyperTalk*™, *CompileIt!*™[87], possède tous les filtres nécessaires pour convertir un script rédigé en *SuperTalk*™, le langage de *SuperCard*™. Alors que *Plus*™ crée des fichiers semblables à des piles d'*HyperCard*™ qui ne peuvent fonctionner sans le logiciel, *SuperCard*™ peut créer des fichiers autonomes fonctionnant comme de véritables logiciels dégagés de tout droit d'auteur. *Plus*™ a maintenant une version IBM™ qui serait capable de faire fonctionner toute pile créée sous Macintosh™. Nos premiers contacts avec cette version ont toutefois révélé des défauts importants, notamment au niveau de l'affichage.

---

85 Aldus Corporation, États-Unis.

86 Spinnaker Software, États-Unis.

87 Heizer Software, États-Unis.

Au total, *SuperCard*™ possède des atouts supérieurs à ceux de *Plus*. Néanmoins, il ne peut constituer un système de développement complet, et ce, en raison de deux lacunes majeures. La première provient de ce que la création des versions autonomes se fait par un pseudo-compilateur qui ajoute pas moins de 350 Ko au fichier initial! La seconde tient à l'extrême lenteur d'exécution des fichiers. Leur vitesse est acceptable, sans plus, sur des appareils dotés du microprocesseur 68030, mais elle devient insupportable avec le 68000. *SuperCard*™, par sa très grande flexibilité et sa confluence avec *HyperCard*™, constitue malgré tout un excellent environnement de prototypage et c'est celui que nous avons utilisé le plus souvent.

Prototyper[88]

Prototyper™ offre aux concepteurs et aux conceptrices la possibilité de concevoir et de produire toute l'interface de leurs futurs logiciels. Dans la programmation Macintosh™, l'interface réside dans une partie du logiciel qui s'appelle la fourchette des ressources. Aussi constate-t-on que *Prototyper*™ se comporte comme un éditeur de ressources, à la manière de *ResEdit*™[89]. Dans ce logiciel, on peut créer des fenêtres, des menus, avec des zones de texte modifiable ou fixe, des boutons, etc.

Trois particularités en font un instrument puissant. Tout d'abord, *Prototyper*™ permet d'afficher à l'écran l'allure finale de la ressource en cours d'élaboration. Deuxièmement, cet outil de développement possède des fonctions préprogrammées qui permettent d'effectuer le passage d'une ressource à une autre. Cela permet de créer des maquettes animées des logiciels encore sur la table à dessin: des menus ouvrent et ferment des fenêtres, des boutons font passer d'une fenêtre à une autre ou émettent des sons, etc. Enfin, troisième atout, *Prototyper*™ peut générer le code *Pascal* ou *C* des ressources qu'il a créées, ce qui permet de les introduire directement dans les logiciels, une fois qu'ils seront écrits dans l'un ou l'autre de ces langages.

Think Pascal et MacApp

Think Pascal[90]™ est une des versions bien installées du langage *Pascal*. La dernière version offre la possibilité de programmer par objets, ce qui constitue un atout dans le cas de *Copilote*. *MacApp*[91]™ est formé d'un ensemble d'outils d'aide à la programmation sur Macintosh™, dont les plus

---

88 COSSEY, George R., SmethersBarnes, États-Unis.

89 Apple Computers, États-Unis.

90 Symantec Corporation, États-Unis.

91 Apple Computers, États-Unis.

importants sont d'abord une vaste collection de routines préprogrammées et ensuite un module, appelé *ViewEdit*™, qui permet, tout comme *Prototyper*™, de créer et de prévisionner les ressources du futur logiciel.

Notre choix se porte vers cette combinaison *Think Pascal*™ et *MacApp*™ pour la réalisation de *Copilote*.

Remarques méthodologiques

Cette section vise à faire part d'un certain nombre d'observations sur notre procédure de recherche qui pourraient servir d'autres recherches engagées dans une voie comparable.

Comme nous l'avions indiqué dans notre demande de subvention auprès du PAREA, la méthode de prototypage mise au point par Jacques Lafeuille et Mario Carrière[92], alors d'APO-Québec, a constitué notre principal cadre de référence méthodologique. Nous avons également consulté le *Guide de développement de logiciels éducatifs*[93], fourni par la Section du matériel didactique informatisé de la DGEC, ainsi que le *Guide de création de didacticiels*[94] de Josianne Basque et Isabelle Mahy.

En retour de tous leurs bénéfices, ces précieux apports méthodologiques méritent quelques commentaires. Nous espérons qu'ils pourront servir aux recherches sœurs. Nos remarques portent sur trois points: le rôle du prototypage, la distinction entre la création de l'interface et la programmation des fonctions et enfin la place de la validation.

Prototypage

Lafeuille et Carrière ont bien défendu les intérêts du prototypage comme mode de recherche en APO. Ils affirment qu'il permet de détecter tôt les faiblesses dans le développement. Ils le trouvent particulièrement utile dans les cas où les besoins initiaux s'expriment en termes vagues, incomplets ou changeants, ce qui était, initialement, le cas de notre projet. Toutefois, préviennent-ils, ces avantages risquent d'être annulés si le prototype met d'abord en place les parties les plus faciles. Dans cette perspective, nous avons concentré nos efforts sur l'informatisation de l'évaluation des cartes résolutoires. Avant d'émettre nos considérations sur la valeur méthodologique du prototypage, il convient de rappeler quelques-unes des grandes étapes qui ont jalonné la naissance de *Copilote*.

---

92 CARRIÈRE, M. et J. LAFEUILLE. «Un modèle de développement de logiciels éducatifs par prototypage», dans *Bulletin de l'Association pour les applications pédagogiques de l'ordinateur au postsecondaire*, vol. 6, n° 2 et 3, numéro spécial «Actes du 6e colloque (juin 1989)», novembre 1989, p. 16-20.

93 MATAIGNE, B. *Guide de développement de logiciels éducatifs*. Tomes I et II, 1989.

94 BASQUE, J. et I. MAHY. *Guide de création de didacticiels*. 1983, 139 pages.

HyperCœur et la fin de la voie du système expert

Copilote est issu d'un premier essai, *HyperCœur*, réalisé par Jean-Pierre Regnault et par Jean-Pierre Bonin qui cherchaient à mettre au point une banque de questions objectives portant sur l'anatomie cardiaque externe. En utilisant le logiciel Hypercard, ils voulaient faire appel au traitement graphique et diriger le choix des questions dans la banque en fonction de la maîtrise préalable des concepts. Christian Barrette a joint ses efforts aux leurs et, après un an, *HyperCœur* a pris la voie du système expert. Le logiciel allait procéder à une comparaison entre la performance de l'étudiant ou celle de l'étudiante et la classification de la banque de connaissances pour rétroagir de façon significative.

Le prototypage, réalisé dans HyperCard[95], mit à jour trois difficultés majeures liées au système expert:

- le temps exigé pour développer en parallèle un système expert du contenu et des rétroactions pertinentes;
- le champ d'application forcément restreint du domaine développé;
- l'apparente impossibilité d'offrir une interface permettant aux professeurs de développer eux-mêmes le système expert en contenu et le système de rétroactions.

Ce premier prototype nous révéla donc la difficulté de la voie du système expert. Nous lui devons en revanche les principaux éléments graphiques de la page-écran du mode résolutoire de *Copilote* ainsi qu'un algorithme de reconnaissance orthographique des réponses écrites. La composition de l'interface graphique s'est accélérée quand le prototypage s'est poursuivi avec SuperCard™. Le prototype s'est alors appelé *SuperCœur*.

Bérénice, Magellan, et al.: la découverte de l'interface du mode résolutoire

L'abandon de la voie du système expert coïncida avec la lancée de notre projet PAREA. L'interface du mode résolutoire, identifiée comme la question la plus difficile à résoudre, devint alors notre première préoccupation. Toute une série de petits prototypes virent le jour, chacun explorant une modalité.

C'est au cours de ces explorations que nous découvrîmes que la proposition constituait l'unité de traitement de la carte résolutoire. Avec le dernier prototype de cette série, appelé *Henri le navigateur*(sic!), le spécialiste de la matière introduisait son savoir sous la forme d'un réseau de concepts que le logiciel traduisait par la suite en propositions avant de le cacher. Au moment de l'auto-évaluation, l'élève devait construire des propositions. Quand elles étaient exactes, la section correspondante du réseau s'affichait. Cette voie tomba sous le coup des critiques suivantes:

---

95 Apple Computers, États-Unis.

- la formulation de propositions une à une nie le principe systémique inhérent à l'approche par réseau de concepts;
- la révélation des sections du réseau construit par le professeur amène l'élève à jouer aux devinettes et, pire encore, à révéler accidentellement des propositions qu'il n'a pas formulées[96].

Copilote

Ce dernier prototype naquit de l'idée que l'étudiant ou l'étudiante en situation d'auto-évaluation devrait dessiner sa propre carte résolutoire. Dans cette approche, présentée dans la partie traitant de l'interface du logiciel, l'unité de traitement reste la proposition; mais le fait que l'étudiant ou l'étudiante dessine son réseau et jouisse de toute la liberté pour le disposer à sa guise contourne les limitations qui nous ont fait abandonner les modèles précédents.

Le fonctionnement élaboré au niveau résolutoire a pu facilement se transposer à l'étage hiérarchique. Le niveau actantiel a trouvé une solution rapide de par sa structure schématique. Quant au niveau empirique, il est une adaptation de l'interface du premier projet, *HyperCœur*.

Comme on peut le constater, ce sont les activités de prototypage qui ont catalysé nos changements d'orientation en cours de recherche. C'est une précieuse contribution, certes, mais qui comporte à tout le moins un piège. Ce piège, c'est de passer un temps inestimable à programmer des éléments nécessaires au *fonctionnement* du prototype mais inutiles à la solution des problèmes de recherche. C'est de cela dont il est question au point suivant.

Distinction entre création de l'interface et programmation des fonctions

Le prototypage de *Copilote* et de ses prédécesseurs immédiats a été réalisé par le système-auteur SuperCard™. Ce produit permet de mettre au point à peu près tous les éléments typiques d'un logiciel Macintosh™. Il est également doté du langage de programmation SuperTalk™, une extension d'HyperTalk™, le langage d'HyperCard™. Il faut bien indiquer ici que ce langage permet de créer des prototypes parfaitement fonctionnels.

Notre expérience a montré qu'il est facile, surtout avec un outil comme SuperCard™, de glisser d'un problème de recherche à un problème de

---

96 Imaginons deux propositions liant, d'une part, A et B et, d'autre part, C et D. Imaginons une troisième relation entre B et C. Si l'élève a mis à jour les deux premières relations, il pourra facilement conclure à la troisième, *puisque la proximité dans l'espace de dessin des éléments B et C est un indice que le professeur les a reliés.*

prototypage. Dans un premier temps, les auteurs utilisent le prototype pour tester des voies de mise en œuvre, mais, bientôt, ils poursuivent leur travail dans le seul but de parfaire le prototype.

Nous en retenons qu'il est inutile d'utiliser un système-auteur pour construire des prototypes quand il n'y a aucun problème informatique à résoudre. La consultation des logiciels commerciaux existants (voir la partie sur ce matériel) et des spécialistes en programmation nous a révélé que, sur le plan strictement informatique, *Copilote* ne représentait aucun défi. En conséquence, un prototype du genre que Lafeuille et Carrière appelle «maquette non-fonctionnelle», limité à l'élaboration des éléments d'interface, nous aurait été suffisant et protégés des incursions du côté de la programmation des fonctions.

Expérimentation

Lorsque des auteurs conçoivent un logiciel d'un type déjà connu, qu'ils utilisent pour le créer une approche pédagogique éprouvée et un contenu établi, ils peuvent planifier immédiatement sa production. Mais s'ils manquent de l'un ou l'autre de ces trois éléments, ils devront s'engager dans une recherche préalable.

Il est possible que cette recherche mette à contribution une réponse déjà toute faite à la question des auteurs. Si cette réponse s'adapte à leurs exigences et a déjà fait ses preuves, alors ils n'auront aucune réticence à l'utiliser telle quelle. Mais sinon, ils devront la modifier ou, même, concevoir une nouvelle réponse. Par rapport à nos questions fondamentales, nous nous sommes trouvés dans cette situation de devoir formuler notre propre solution. Or, une bonne idée n'est pas forcément une idée valable.

Notre modèle de représentation des connaissances exigeait d'être expérimenté avant même de songer à l'utiliser pour créer un logiciel. Il fallait qu'il résiste aux épreuves suivantes:

- il permet d'effectuer une bonne analyse de la matière dans un temps raisonnable;
- il peut être traduit dans des formes graphiques simples;
- il est compréhensible et utilisable par des étudiants et des étudiantes;
- il peut être intégré facilement à l'interface d'un logiciel;
- il ne présente pas de défi informatique insurmontable.

Pour lever le voile de l'inquiétude sur l'efficacité de notre modèle, il a fallu tester chacun de ces points. Les trois premiers font l'objet de la partie «Expérimentation de la méthode». Le prototypage s'est occupé des deux derniers.

Notre échéancier initial de travail ne prévoyait pas d'expérimentation du modèle de représentation des connaissances. En eussions-nous trouvé un tout fait qu'il n'aurait été affecté, mais l'exigence de vérifier la valeur de notre ouvrage nous a contraints de reporter à plus tard le devis détaillé du logiciel.

Quelques semaines additionnelles de validation nous ont donc servi à évaluer l'usage de la méthode de *Copilote* dans les conditions suivantes: analyse de matière par des collègues[97] et par les auteurs, fabrication de médias visuels utilisés en enseignement et dans des stratégies pédagogiques d'évaluation formative et sommative, modèles de structuration de notes de lectures et de cours.

97 Cela s'est fait dans le cadre d'un cours Performa offert en août 1991 aux enseignants du département des sciences sociales du Collège Ahuntsic et à l'automne 1991 à un groupe d'enseignants du cégep de Joliette-Lanaudière.

Ouvrages cités

AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology: a Cognitive View*, New York, 1968, Holt, Rinehart and Winston, 685 p.

BASQUE, J. et I. MAHY. *Guide de création de didacticiels*, Varennes (Québec), Graficor, 1983, 139 p.

BRETON, Jacques. «La schématisation des concepts : un instrument de développement des habiletés conceptuelles au collégial», dans *Pédagogie collégiale*, vol. 4 n° 3, février 1991, Montréal, p. 18-23.

BRIEN, R. *Science cognitive et formation*, Sillery, Presses de l'université du Québec, 1990, 130 p.

CALLMAN, Joshua, et al. «Computer-Based Semantic Network in Molecular Biology: A Demonstration», octobre 1985, conférence prononcée lors de la «Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching» (San Francisco, 28 mars au 1er avril 1986).

CARRIÈRE, M. et J. LAFEUILLE. «Un modèle de développement de logiciels éducatifs par prototypage» dans *Bulletin de l'Association pour les applications pédagogiques de l'ordinateur au postsecondaire*, vol. 6, nos 2 et 3, numéro spécial «Actes du 6e colloque (juin 1989)», novembre 1989, p. 16-20.

CÉGEP DE BAIE-COMEAU. Commission pédagogique. *Rapport sur les orientations du collège en matière de formation fondamentale*, Baie-Comeau, mai 1988, 25 p.

CHANGEUX, J.-P. *L'homme neuronal*, Paris, Fayard, 1983, 415 p.

CONSEIL DES COLLÈGES. *Les politiques institutionnelles d'évaluation des apprentissages: état de la situation deux ans plus tard*. Commission de l'évaluation, Gouvernement du Québec, juin 1987, 34 p.

DEPOVER, C. *L'ordinateur media d'enseignement. Un cadre conceptuel*, De Boeck Université, Pédagogies en développement, Bruxelles, 1987, 235 p.

DESROSIERS-SABBATH, R. *Comment enseigner les concepts, vers un système de modèles d'enseignement*, Presses de l'université du Québec, Québec, 1984, 100 p.

DROUIN, G. et F. LORRAIN, «Les formes de représentation de la connaissance» dans *Sociologie et intelligence artificielle*. André TURMEL éditeur, laboratoire de recherches sociologiques, département de sociologie, université Laval, Collection Séminaire de recherche no 1, Québec, 1988, 205 p.

DUBÉ, L. *Psychologie de l'apprentissage de 1880 à 1980*, Presses de l'université du Québec, Québec, 1986, 364 p.

DUNKLEBERGER, G. E. et H. HEIKKINEN. «Computer-Made Tests Set Mastery Learning Free», dans *Curriculum Review*, vol 22, n°5 (décembre 1983), p. 34-35.

ÉTHIER, A. «Un nouveau principe systémique en éducation» in *Technologie et communication éducatives*. (LESCOP, Jean-Yves, dir.), Conseil interuniversitaire des professeurs en technologie éducative, Sainte-Foy, Télé-université, université du Québec, 1988, 618 p.

FISCHLER, Martin A. et Oscar FIRSCHEIN. *Intelligence The Eye, the Brain, and the Computer*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading Mass., 1987, 331 p.

FISHER, K. M., FALETTI, J., PATTERSON, H, THORNTON, R., LIPSON, J. et C. SPRING. «Computer-based Concept Mapping. SemNet software: a tool for describing knowledge networks» dans *Journal of College Science Teaching*, mai 1990, p. 347-352.

FIVAZ, R. *L'ordre et la volupté*, Presses polytechniques romandes, Lausanne, 1989, 167 p.

GALLAIRE, H. «La représentation des connaissances», dans *La recherche*, vol. 16, n°170 (octobre 1985), p. 1240-1248.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, ministère de l'Éducation du Québec, Direction générale du développement pédagogique. *Politique générale d'évaluation pédagogique, sSecteur du primaire et du secondaire*, 1981, 132 p.

JONES, B. F., J. PIERCE et B. HUNTER. «Teaching Students to Construct Graphic Representations», dans *Educational Leadership*, vol. 46, no 4 (décembre 1988-janvier 1989), p. 8 et suiv.

JONES, M., LI , Z. et M. D. MERRILL. «Domain Knowledge Representation for Instructionnal Analysis», dans *Educational Technology*, (octobre 1990), p. 7-32.

LALIBERTÉ, J. «Définition, actualité et pertinence de la formation fondamentale». *Conférence d'ouverture de la journée pédagogique du 24 février 1988*, cégep de Baie-Comeau, février 1988, 12 p.

LANDSHEERE, G. de. *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*, Presses universitaires de France, Paris, 1979, 338 p.

LEFEBVRE-PINARD, M. «Existe-t-il des changements cognitifs chez l'adulte?» in *Revue québécoise de Psychologie*. vol. 1, n°2, p. 58-69.

LÉVESQUE, A.. «La genèse de l'intelligence artificielle» in *Sociologie et intelligence artificielle*. André TURMEL éditeur, laboratoire de recherches sociologiques, département de sociologie, université Laval, Collection Séminaire de recherche no 1, Québec, 1988, 205 p.

LINDSAY, P.H. et D.A. Norman. *Traitement de l'information et comportement humain. Une introduction à la psychologie*, Éditions Études Vivantes, Montréal, 1980, p. 380-415.

LOISELLE, R. et ROULEAU S., Les réseaux de concepts au laboratoire, Collège Montmorency, avril 1991, 121 p.

MARZANO, R.J. et al. *Dimensions of thinking, A Framework for Curriculum and Instruction*. Virginia, Association for Supervision and Curriculum Development, 1988, 162 p.

MATAIGNE, B. *Guide de développement de logiciels éducatifs*. Section du matériel didactique informatisé, Direction générale de l'enseignement collégial, Québec, 1989, s.p.

MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS, Direction générale des publications gouvernementales. *Éléments de docimologie*, fascicule 3, *L'évaluation formative*. 1983, 118 p.

MINSKY, M. A. *A Framework for Representing Knowledge*. Cambridge, MIT Lab Memo 306, 1974. (Réédité dans J. HAUGLAND (éditeur), *Mind Design*. 1981). s.p.

MITCHELL, P. D. «Evaluation of understanding in intelligent interactive systems: an application of conversation theory», dans *Proceedings of Fourth Annual Conference on Development of Effective Interactive Instructional Materials*, Society for Applied Learning Technology, 1988, p. 59-65.

MITCHELL, P. D. et TAYLOR, S. G. «Learning gains through C.A.L. and concept mapping». Conférence prononcée au 7e congrès annuel sur l'ordinateur et l'éducation, faculté des sciences de l'éducation de l'université McGill, Montréal, 15-16-17 novembre 1989.

MOREIRA, M. «Concept Mapping: an Alternative Strategy for Evaluation» dans *Asessment and Evaluation in Education*, vol. 10, n° 2, 1985, p. 159-168.

MORIN, Edgar. *Introduction à la pensée complexe*. ESF éditeur, Paris, 1990, 158 p.

NOVAK, J. D. «Metacognitive Strategies to Help Students Learning how to Learn» *Reasearch matters....To the Science Teacher*. National Association for Research in Science Teaching, 3 p.

PALKIEWICZ, J. «Développement de la pensée et de l'action responsable dans une perspective d'acquisition de compétences au collégial». Actes du 10e colloque annuel de l'AQPC, Québec, juin 1990, 9 p.

PINARD, A. «Cognition et métacognition: les recherches sur le développement de l'intelligence» dans *Interface*, novembre-décembre 1987, p. 21.

SCALLON, G. *L'évaluation formative des apprentissages*, vol. 1 (*L'instrumentation*). Les Presses de l'université Laval, Québec, 1988, 263 p.

SCALLON, G. *L'évaluation formative des apprentissages*, vol. 2 (*La réflexion*). Les Presses de l'université Laval, Québec, 1988, 171 p.

SÉGUIN, P. «Un EAO qui améliore les résultats des étudiants», dans *Technologiques*, vol. 3, n° 16, collège de Bois-de-Boulogne, Montréal, 1991, p. 3-6.

TASCHEN, B. *M.C. Esche, l'œuvre graphique, introduction et commentaires du graveur*. Verlag, 1990, Berlin, 112 p.

TAYLOR, S. G. «Concept Mapping in Structural Communications». Exposé fait le 28 octobre 1989 devant le Colloque du Conseil interuniversitaire des professeurs de technologie de l'éducation.

VARELA, J. Francisco . *Autonomie et connaissance, essai sur le vivant*. Seuil, coll. La couleur des idées, Paris, 1989, 248 p.

VARELA, J. Francisco. *Connaître les sciences cognitives, tendances et perspectives*. Seuil, 1988, Paris, 123 p.

VOGEL, C. *Génie cognitif*. Masson, Paris, 1988, 195 p.

Annexes

Annexe 1
Vocabulaire restreint de la typologie des relations

Classes	Sous-Classes	Primitives et réciproques	Antonymes et réciproques
Empirique	Caractérisation	**Caractérise** Identifie Définit Dépeint Qualifie Distingue	**Confond** Embrouille Mêle
		Se caractérise par Est caractérisé par S'identifie par Se définit par	**Est confondu par** S'embrouille par Se confond avec
	Exemple	**Est un exemple de** Est une illustration de Illustre Met en lumière Témoigne de	**Est une exception à** Réfute Est une anomalie de Diffère de
		Est illustré par Est éclairé par Est exemplifié par	**Est excepté par** Est réfuté par Est démenti par
Hiérarchique	Classification	**Regroupe** Réunit Inclut Rassemble Englobe	**Exclut** Élimine Écarte Retire Sépare
		Est une sorte de Est une classe de Est un genre de Est une espèce de Est une branche de	**Est exclu de** Est éliminé de Est écarté de Est retiré de

	Composition	**Se compose de** Contient Comporte Intègre	**Dissocie** Retranche Retire
		Est une partie de Est une pièce de Est une compos[illegible] Est un morceau S'intègre à	**Est dissocié de** Est détaché de Est retiré de Est prélevé de
	Séquence	**Précède** Vient avant Préexiste à Est préalable à Est antérieur à Devance Annonce	**Coïncide avec** Est contemporain de Coexiste avec Accompagne
		Suit Vient après Succède à Est postérieur à	
Actantiel	Agent sujet	**Cause** Provoque Déclenche Entraîne Engendre Suscite Occasionne Donne lieu à Génère	**Empêche** Prévient Entrave Interdit Arrête Bloque Enraie Stoppe
		Résulte de Est la conséquence de Est l'aboutissement de Découle de Émane de Est généré par	**Est empêché par** Est prévenu par Est entravé par Est interdit par Est arrêté par Est bloqué par
	adjuvant	**Favorise** Aide Avantage Profite à Encourage Accélère Stimule Améliore	**Défavorise** Désavantage Nuit à Décourage Ralentit Contrarie Réprime Entrave

	Profite de Tire profit de Est accéléré par Est stimulé par Bénéficie de	**Est défavorisé par** Est désavantagé par Est freiné par Est ralenti par Souffre de
Instrument	**Utilise** Se sert de Fait usage de A recours à Emploie	**Se passe de** Se prive de Délaisse
	Est utilisé par Sert Est employé par	**Est délaissé par** Est laissé de côté par
But	**Vise** Cherche Poursuit Tend à	**Évite** Fuit S'éloigne de Renonce à
	Est visé par Est recherché par Est le but de Est l'objectif de	**Est évité par** Est fui par Est abandonné par
Circonstances	**Dépend de** Est à la merci de Est influencé par Est assujetti à	**Est insensible à** Est indépendant de
	Conditionne Détermine Affecte Influence Influe sur	**Est sans effet sur**
État initial	**Transforme** Change Modifie Convertit Traite	**Maintient** Conserve Garde Confirme
	Est transformé par Est changé par Est modifié par Est converti par Est traité par	**Est maintenu par** Est conservé par Est gardé par Est confirmé par

	État final	**Produit** Fabrique Élabore Confectionne Compose	**Raté** Avorter Détériore Gâcher Échouer
		Est produit par Est fabriqué par Est élaboré par Est confectionné par Est composé par	**Est raté par** Est avorté par Est détérioré par Est gâché par Est échoué par

Annexe II
Questionnaire sur l'utilisation de Copilote

No 1

Trouvez-vous pertinente la distinction des niveaux proposée par notre méthode (empirique, hiérarchique, actanciel, résolutoire) dans la planification, dans la prestation, dans l'évaluation?

No 2

Trouvez-vous pertinente, en regard d'une présentation écrite, la schématisation proposée par notre méthode dans la planification, dans la prestation, dans l'évaluation?

No 3

Quels avantages ou désavantages voyez-vous à utiliser notre méthode à des fins d'évaluation par rapport à une banque de questions?

No 4

Trouvez-vous que la méthode s'adapte facilement à la matière que vous enseignez?

No 5

Cette méthode laisse-t-elle dans l'ombre des types particuliers de connaissances ou d'habiletés que vous jugez importantes dans la matière que vous enseignez?

No 6

La méthode prévoit de procéder à l'analyse d'un domaine de façon intégrée, c'est-à-dire en commençant par le niveau résolutoire et en développant le contenu des noeuds, niveau par niveau, jusqu'à l'empirique. La méthode permet aussi de procéder à l'analyse d'une façon spontanée, sans viser une totale intégration des nœuds développés. Quelle approche avez-vous utilisée et pourquoi?

No 7

La typologie des relations proposée vous paraît-elle suffisamment claire et complète pour traduire votre pensée dans un réseau?

No 8

Le vocabulaire proposé vous convient-il? Souhaiteriez-vous avoir des synonymes? Souhaiteriez-vous définir votre propre vocabulaire?

No 9

Reste-t-il des éléments obscurs dans la méthode?

No 10

Les résultats obtenus de l'application de la méthode d'analyse valent-ils les efforts investis ?

No 11

Éventuellement, seriez-vous intéressé-e à participer à l'expérimentation et à la validation du didacticiel *Copilote* ?

OUI ___

NON ___

1532-0333